

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program N 2301 – Strojní inženýrství

Materiály a technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Hodnocení vlastností termoplastů se silikonovými aditivami

Bc. Jaroslav Kutík

KSP – TP –

Vedoucí diplomové práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
Konzultant diplomové práce: Ing. Zdeněk Severa, Magna, s.r.o., Liberec
Ing. Jiří Bobek, TUL

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	73
Počet tabulek	13
Počet příloh	0
Počet obrázků	49
Počet grafů	29

Datum: 27. 5. 2011

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: N 2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Bc. Jaroslav Kutík

Téma práce: Hodnocení vlastností termoplastů se silikonovými aditivami

Evaluation of the characteristics of the thermoplastics with the silicone additives

Číslo DP: KSP – TP -

Vedoucí DP: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld

Konzultant: Ing. Zdeněk Severa, Magna, s.r.o., Liberec
Ing. Jiří Bobek, TUL

Abstrakt:

Obsahem diplomové práce je vyhodnotit vliv silikonových aditiv v termoplastech v praxi a to aplikací při vstřikování termoplastu a provedením zkoušek vlastností materiálu při různém procentuálním obsahu silikonového aditiva s následným zhodnocením výsledků a doporučením aplikace pro sériovou výrobu.

Abstract:

The content of my thesis is to evaluate the impact of the silicon additive in the praxis. The characteristics of the silicon additives were evaluated in the process of injection of the thermoplastics and by the performing of the experiments with the various percentages of the silicon additives. The purpose of my thesis was to expertly evaluate the results and the recommendation of the most proper methods for the mass production.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 27. 5. 2011

.....
Bc. Jaroslav Kutík

Lhota 230

Červený Kostelec

549 41

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval především svému vedoucímu prof. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi a konzultantům Ing. Jiřímu Bobkovi a Ing. Zdeňku Severovi, Ph.D. za poskytnutou pomoc, cenné rady a připomínky při zpracování této diplomové práce.

Rovněž bych rád poděkoval Mgr. Anně Galové za pomoc při formálním zpracování diplomové práce a také za nezbytnou morální podporu, bez které by tato práce jistě nevznikla.

V neposlední řadě bych touto cestou rád poděkoval své rodině za podporu při studiu, stejně tak svému nadřízenému Petru Kolářovi, Dis.

OBSAH:

<u>1. ÚVOD</u>	9
<u>2. TEORETICKÁ ČÁST</u>	9
<u>2.1 KŘEMÍK</u>	9
<u>2.2 CO JSOU TO SILIKONY (SILIKONY)</u>	10
<u>2.3 VLASTNOSTI SILIKONŮ</u>	10
<u>2.4 POUŽITÍ SILIKONŮ V RŮZNÝCH ODVĚTVÍCH</u>	11
<u>2.4.1 Použití v elektrotechnice</u>	11
<u>2.4.2 Použití v lékařství</u>	12
<u>2.4.3 Použití ve stavebnictví</u>	13
<u>2.4.4 Použití v průmyslu</u>	15
<u>2.4.5 Použití v běžném životě</u>	16
<u>2.5 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ</u>	16
<u>2.5.1 Popis a vliv jednotlivých časů vstřikovacího cyklu</u>	18
<u>2.5.1.1 Strojní doby</u>	19
<u>2.5.1.2 Doba vstřikování</u>	19
<u>2.5.1.3 Doba dotlaku</u>	20
<u>2.5.1.4 Doba plastikace</u>	21
<u>2.5.2 Doba chlazení</u>	21
<u>2.6 POUŽITÍ SILIKONOVÝCH ADITIV (SILIKONŮ) V POLYMERECH</u>	22
<u>2.6.1 Používaná aditiva</u>	22
<u>2.6.1.1 Rozdíl mezi konvenčními a vysoce molekulárními PDMS</u>	22
<u>2.6.1.2 Rozdílné chování nízko a vysokomolekulárních PDMS</u>	23
<u>2.6.2 Formy používaných aditiv</u>	23
<u>2.6.3 Příklady zlepšení technologických parametrů a materiálových vlastností po přidání silikonových aditiv</u>	25
<u>3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</u>	31
<u>3.1 ÚVOD</u>	31
<u>3.2 MATERIÁLY POUŽITÉ PRO VÝROBU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ</u>	31
<u>3.2.1 Základní materiál</u>	31
<u>3.2.2. Přísada</u>	32
<u>3.2.3 Aditivum</u>	33
<u>3.3 ROZDĚLENÍ POUŽITÝCH MATERIÁLŮ PRO VÝROBU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ</u>	34
<u>3.4 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES S ROZDÍLNÝM PROCENTUÁLNÍM OBJEMEM SILIKONOVÉHO ADITIVA</u>	34
<u>3.4.1 Určení procentuálního obsahu Si aditiva</u>	34

<u>3.4.2 Rozdělení a značení jednotlivých vzorků</u>	35
<u>3.5 ZAŘÍZENÍ POUŽITÁ K VÝROBE ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ</u>	35
<u>3.5.1 Vstřikovací lis</u>	35
<u>3.5.2 Temperační zařízení</u>	36
<u>3.5.3 Zařízení na mletí vzorků</u>	37
<u>3.5.4 Zařízení na vážení jednotlivých směsí materiálu</u>	38
<u>3.6 VÝROBA A TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY VÝROBY VZORKŮ</u>	38
<u>3.6.1 Příprava materiálu</u>	38
<u>3.6.2 Volba vstřikovacích forem</u>	39
<u>3.6.3 Technologické parametry výroby</u>	41
<u>3.6.4 První vstřikování materiálu</u>	42
<u>3.6.5 Druhé vstřikování materiálu</u>	42
<u>3.6.6 Třetí vstřikování materiálu</u>	43
<u>3.7 VÝSLEDKY ZKOUŠEK MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ</u>	43
<u>3.7.1 Zkouška ohybem</u>	43
<u>3.7.2 Zkouška tahem</u>	45
<u>3.7.3 Rázová zkouška</u>	48
<u>3.7.4 Zkouška tvrdosti</u>	50
<u>3.8 VÝSLEDKY SLEDOVÁNÍ PROCESNÍCH VELIČIN</u>	52
<u>3.9 VÝSLEDKY ZKOUŠEK FUNKČNÍCH VLASTNOSTÍ</u>	54
<u>3.9.1 Zkouška lakovatelnosti</u>	54
<u>3.9.2 Zkouška odolnosti proti poškrábání</u>	56
<u>3.9.3 Zkouška odolnosti proti otěru</u>	57
<u>3.9.4 Zkouška svařitelnosti</u>	58
<u>3.10 VÝSLEDKY MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ</u>	59
<u>3.10.1 Měření objemového indexu toku taveniny (MVR)</u>	59
<u>3.10.2 Zkouška zabíhavosti</u>	60
<u>3.10.3 Měření smrštění</u>	62
<u>4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUZE</u>	63
<u>4.1 ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ</u>	63
<u>4.1.1 Vyhodnocení zkoušky ohybem</u>	63
<u>4.1.2 Vyhodnocení zkoušky tahem</u>	64
<u>4.1.3 Vyhodnocení rázové zkoušky</u>	65
<u>4.1.4 Vyhodnocení zkoušky tvrdosti</u>	65
<u>4.2 ZKOUŠKY FUNKČNÍCH VLASTNOSTÍ</u>	66
<u>4.2.1 Vyhodnocení zkoušky lakovatelnosti</u>	66
<u>4.2.2 Vyhodnocení odolnosti proti poškrábání</u>	66

<u>4.2.3 Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti otěru</u>	67
<u>4.3 MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ</u>	68
<u>4.3.1 Vyhodnocení objemového indexu toku taveniny MVR</u>	68
<u>4.3.2 Vyhodnocení zkoušky zabíhavosti</u>	68
<u>4.3.3 Vyhodnocení zkoušky smrštění</u>	69
<u>5. ZÁVĚR</u>	70
<u>5. LITERATURA</u>	72

1. ÚVOD

Silikon. Většině lidí se při vyřčení tohoto slova vybaví pouze sanitární silikon používaný na utěsnění spár v sanitárním zařízení nebo obdivované moderní silikonové prsní implantáty ženského pokolení. Avšak tento materiál, jehož základem jsou molekuly křemíku, má hojně využití a veliký potenciál i v plastikářském průmyslu.

V současnosti je silikon základním materiálem se širokým použitím v běžném životě. K dispozici není lepší alternativní materiál. Existuje mnoho způsobů využití silikonu v kosmetice i lékařství. Základním stavebním prvkem silikonu je křemík.

Silikon se používá v různých modifikacích buď jako základní materiál, nebo v omezených koncentracích (cca do 10 %) jako aditivum (oleje, koncentráty, prášky) pro zlepšení zpracování a materiálových vlastností. Silikony se používají jako maziva nebo pojiva, odpuzují vodu, zůstávají tuhé při extrémních teplotách nebo poddajné v mrazu.

Vývoj organosilikonové chemie začal počátkem 20. století a jak tomu už bývá, vývoji značně napomohla světová válka, kde byl silikonový materiál použit k izolaci elektrických svazků letadel, což zabránilo vzniku korónového výboje a letadla tak mohla zůstat ve výšce 35.000 stop po osm hodin, takže bylo možné dodat letadla do severní Afriky a Anglie letecky namísto lodním konvojem. Za otce organosilikonové chemie je považován Dr. Frederick S. Kipping.

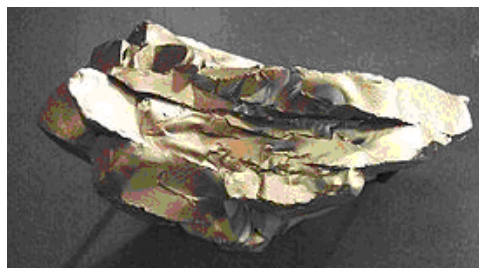
Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv silikonových aditiv v termoplastech v praxi. Silikonová aditiva nejsou ve světě plastů až takovou novinkou, vždy byl ale problém s malými molekulami silikonu, které následně difundují k povrchu, znemožňují tak lakovatelnost a tím se razantně snižuje okruh použití plastů s těmito aditivami.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže 2822 ze strany TUL v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 KŘEMÍK

Křemík (lat. *Silicium*) je polokovový prvek, který se hojně vyskytuje v zemské kůře. V přírodě se však nikdy nevyskytuje ve své čisté formě, ale pouze v chemicky a tepelně stabilních sloučeninách s kyslíkem. Nejběžnější formou nerostů s obsahem křemíkových sloučenin je křemen nebo žula. Je základním materiálem pro výrobu polovodičových součástek, ultra tenkých čipů (20 mikrometrů) a samozřejmě je to základní surovina pro výrobu skla a významná součást stavebních a keramických materiálů [1].



Obr. 2.1: Křemíková ruda [1]

2.2 CO JSOU TO SILIKONY (SILIKONY)

Silikony jsou syntetické, v přírodě se nevyskytující látky, kde hlavní řetězec molekuly je tvořen střídajícími se atomy křemíku a kyslíku a na křemík jsou vázány další organické radikály, nejčastěji methylová skupina. Kromě methylových skupin mohou být na řetězce $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ vázány nejrůznější jiné radikály. Lineární silikonové polymery mohou být v různém rozsahu příčně zesíťované, nebo spojené kovalentně přes různé skupiny atomů. Tím se silikon stává neuvěřitelně versatilním materiálem, jsou vyráběny v různých formách od tuhých látek přes semiviskózní pasty, maziva a oleje až ke kapalným formám a volbou radikálů lze modifikovat jejich vlastnosti.

Některé termíny používané v silikonové chemii vycházejí z názvosloví organické chemie. Například termín „silan“ je používán pro sloučeninu SiH_4 , která je odvozena od metanu – uhlíkového analogu CH_4 /2/.



Obr. 2.2: Molekula silikonu

2.3 VLASTNOSTI SILIKONŮ /3/, /4/

Silikony mají vynikající adhezivní vlastnosti, které jsou výsledkem chemické vazby mezi organickou polymerní matricí silikonu a substrátu. Silikonovými tmely lze lepit i materiály, které jsou jinak obtížně lepitelné (beton, sklo, kov). Vzniklá chemická vazba je velmi pevná a spolehlivější než spoje vytvořené mechanickou nebo fyzikální cestou.

Mimořádná odolnost nejen proti ovzduší, kyslíku, ultrafialovému záření a kosmickému záření, ale také proti veškerým klimatickým jevům.

Silikony jsou látky bez chuti a zápachu, nepodporují množení bakterií, nebarví ani nezpůsobují korozi jiných materiálů, jsou fyziologicky neutrální. A navíc silikonové pryže vykazují vynikající kompatibilitu s lidskou tkání a tělními kapalinami. Používají se pro výrobu očních čoček, trubiček pro intravenózní systémy, kyslíkové masky, savičky pro děti a podobně.

Silikony hrají zásadní úlohu v ochraně a izolaci elektrických zařízení. Methylové skupiny pravidelně rozmístěné podél silikonové makromolekuly jsou nepolární a neumožňují elektrickému náboji jeho prostup. Silikony jsou tedy nevodivé a mají vynikající elektroizolační vlastnosti. Výborné izolační vlastnosti také při vysokých teplotách, speciální stupeň vodivosti možný po úpravě směsi.

Hodnocení vlastností termoplastů se silikonovými aditivy

Silikony se používají k izolaci cívek transformátorů, vysokonapěťových vedení nebo elektrických zážehových systémů. Automobilový průmysl masivně využívá silikony na izolaci konektorů kabelů elektrického vedení.

Mimořádně dobrá odolnost jak při nízkých tak při vysokých teplotách.

- standardní teploty: $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- speciální teploty: $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- stálost mnoha fyzikálních vlastností nad široké teplotní rozpětí.

Tepelná stabilita silikonů vychází z vysoké tepelné stability vazeb Si–O a Si–CH₃. Nicméně silikony mohou být snadno rozloženy koncentrovanými kyselinami a zásadami už při pokojové teplotě.

Silikonové lubrikanty, ve formě pasty, tmelu nebo kapaliny, výrazně snižují tření mezi dvěma tělesy z různých materiálů – plastu, pryže, kovu nebo skla.

Velmi dobrá odolnost proti vroucí vodě, vodu odpuzující charakter brání absorpci vody, odolnosti proti páře do cca $140\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dobrá odolnost proti vodním roztokům slabých kyselin a bází také při vysokých teplotách stejně jako proti polárním tekutinám (např. vícemocným alkoholům atd.) podmíněná použitelnost pro nepochopitelné tekutiny (mastné nebo aromatické minerální oleje, palivo atd.).

2.4 POUŽITÍ SILIKONŮ V RŮZNÝCH ODVĚTVÍCH

2.4.1 Použití v elektrotechnice

Silikonové zalévací a pouzdřicí hmoty

Silikonové polymery a elastomery pro zalévání a pouzdření elektronických k ochraně citlivých systémů. Tyto materiály jsou zejména vhodné pro svůj teplotní rozsah použití a vynikající elektroizolační vlastnosti a dobrou odolnost. /5/



Obr. 2.3: Zalévací silikonová hmota /5/

2.4.2 Použití v lékařství

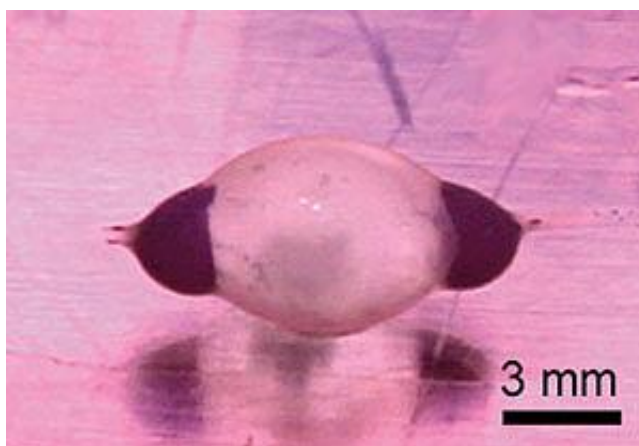
Oční čočky hlídající nitrooční tlak

Materiáloví inženýři Hailing Cong a Tingrui Pan z University of California v americkém Davisu zabudovali do polymeru pro výrobu kontaktních čoček elektricky vodivé materiály a tím otevřeli cestu ke konstrukci "hlídače" nitroočního tlaku. Výchozí surovinou byl běžný organický polymer polydimetylsiloxan, který lze formovat do nejrůznějších tvarů. Do roztoku se surovinou pro výrobu čoček nejprve přidali chemikálii, která navozuje polymeraci v ultrafialovém záření. Následně roztok ozářili přes masku tak, aby polymerací vznikala mřížka předem určeného tvaru. Když přidali do výchozí suroviny ještě ionty stříbra, vznikla mřížka, která vede elektrický proud. Tak mohli vytvářet elektrické obvody, jejichž tvar lze určit s přesností jedné setiny milimetru. Odpor takového elektrického obvodu se mění s tím, jak je natahován nebo naopak stlačován. Díky tomu ho lze využít k měření tlaku. /6/

Minisrdce

Pět milimetrů velkou pumpu poháněnou buňkami srdečního svalu sestrojili na Tokijské univerzitě.

Pumpu tvoří dutá koule ze silikonového polymeru pokrytá srdečními buňkami, které se samovolně stahují a povolují. Zařízení nepotřebuje žádné napájení, stačí pouze dodávat živiny pro pracující buňky. Nové zařízení se asi nejvíc uplatní v lékařství při nitrotělních aplikacích, kde nutnost zajistit napájení vždy představuje problém. /7/



Obr. 2.4: Silikonové minisrdce /7/

Umělé svaly

Pro řešení ochrnutí obličejových svalů byl proveden výzkum v oblasti umělých svalů vyrobených z elektroaktivních silikonových polymerů. Tajemství efektivity těchto doslova zázračných materiálů je poměrně jednoduché. Činnost přirozeného lidského svalu dokážou imitovat tak, že se na slaboučké elektrické impulzy rozšíří, po přerušení elektrického proudu se naopak smrští. Svaly jsou napájeny voperovanou elektrickou baterií.

Mikročipy v léčích

Nepatrné a téměř neviditelné silikonové mikročipy se vnášejí do léků během jejich výroby podle technologie vyvinuté americkou společností Proteus Biomedical. Stravitelný mikročip o velikosti jednoho milimetru v tabletách nebo tobolkách umožní zjistit, zda si pacient nadávkovoval léky správně a včas. Lékařům pak dovolí prostřednictvím webových stránek a mobilního telefonu sledovat účinek medikamentů i u pacientů mimo nemocnici nebo ordinaci. Senzor se aktivuje neškodným elektrickým nábojem při trávení léku žaludku. Signál se zachycuje citlivou náplastí na pacientově břiše nebo zádech, která zaznamená čas a datum vylučování léku do organismu. /6/

Mammární implantáty plněné kohezivním silikonovým gelem

Mammární implantáty plněné gelem obsahují nový silikonový kohezivní gel, který je navržen tak, aby implantáty držely svůj tvar, ale přesto zůstaly přirozeně měkké. V současnosti se nevyskytují žádná vědecká data o tzv. „nové nemoci“ pocházející od použití silikonových implantátů. Rovněž neexistují reakce jako silikonové alergie či intoxikace. /8/

Silikonové otiskovací hmoty

Ireversibilní chemoplastické hmoty na otiskování hlavního otisku pro menší defekty ozubené čelisti. Funkční chemickou látkou jsou silikony (polysiloxandioly). Nízkou kontrakci a přesnost otisku u těchto hmot zabezpečujeme technikami dvojího otiskování a sandwichové techniky, které pracují s různými konzistencemi. /9/

2.4.3 Použití ve stavebnictví

Silikony mají na stavebnictví dramatický dopad. Díky nim mohou být budovány stavby nejrozmanitějších tvarů a velikostí, které jsou pohodlnější a hlavně trvanlivější.

Ochrana

Silikonové těsnicí materiály bezpečně upevňují skla v rámech oken nebo skleněných fasádách. Elastický charakter některých silikonových těsnicích tmelů (např. ve skleněných fasádách) může eliminovat destrukční účinky až středně těžkých zemětřesení.

Silikony také prodlužují životnost povrchových nátěrů a úprav výrobků, a to i v extrémních podmínkách. Ochraňují se tak námořní lodi, mosty, průmyslové stavby, kontejnery, potrubí apod. /10/

Zpevnění

Díky vynikajícím adhezním vlastnostem a odolnosti silikonů je možné jimi spojovat většinu materiálů, velmi porézních i neporézních, stejně jako obtížně lepitelných, jako jsou beton, sklo, mramor, hliník, ocel a plasty.

Silikony mohou zpevnit drobné sefasádování, narušené spoje nebo jiné oslabené struktury bez porušení integrity původního materiálu. /10/

Hydrofobizační prostředky

Silikonové mikroemulze, po aplikaci se na stěnách pórů vytváří vodoodpudivá vrstva, která může mít i určitý utěšňovací efekt. Jedná se o směs silanů a siloxanů bez obsahu vody nebo jiných rozpouštědel.

/6/

Silikonové fasádní barvy a omítky

Silikonové omítky a barvy jsou nejpokročilejší materiály pro ochranu fasád, které jsou dostupné na trhu. Životnost materiálů ze silikonových pojiv je velmi vysoká a z hlediska ochrany konstrukce se jedná o špičkovou ochranu fasády. Tyto materiály vynikají výbornou paropropustností, přičemž jsou odolné proti pronikání vnější vlhkosti, dále vynikají stálostí barev, odolností vůči průmyslové atmosféře a velmi dobrým samočisticím, tzv. „odperlovacím efektem“.

Silikátové fasádní barvy

Tyto materiály jsou vyráběny na bázi silikátové disperze ve spojení s draselným vodním sklem.

Mají výbornou odolnost vůči alkáliím a vlhkosti prostupující z podkladu. /11/

Fasádní pásy

K pružnému překrytí dilatačních spár u panelové výstavby. Jsou vhodné zejména pro rekonstrukci starších budov a pro novou výstavbu. Pro jejich vodoodpudivý povrch je vhodné je užít i pro pružné utěsnění spár a koutů u čistých sanitárních prostor interiérů.

Okenní a dveřní těsnění

Dlouhá životnost, odolnost vůči slunečnímu záření, tvarová paměť, příjemné estetické vlastnosti, vynikající zvukoizolační vlastnosti. Spolehlivě snižuje průnik prachu a pachů do interiéru, dokonale kopíruje nerovnosti, dobře plní těsnicí a izolační funkce. Pro svou měkkost a dobrou tvarovou paměť zabezpečuje silikon lehké zavírání oken a dveří a je odolný proti barvám. /3/

2.4.4 Použití v průmyslu

Silikonové ochranné pomůcky

Např. silikonové masky pro použití v kovoobrábění, kovově zpracovatelském průmyslu, chemických a petrochemických společnostech. Extrémně lehké a měkké, přizpůsobí se tvaru obličeje a neponechávají žádné otisky nebo podráždění kůže.



Obr. 2.5: Silikonová polomaska /12/

Pásky

Polyesterové pásky s vysokou pevností v tahu a silikonovým lepidlem. /12/



Obr. 2.6: Pásky se silikonovým lepidlem, aplikace silikonu v elektrotechnice /12/

Silikonová technická pryž

Charakteristické vlastnosti výrobků ze silikonových kaučuků vyhovují speciálním požadavkům na zdravotní nezávadnost, na větší odolnost vůči vyšším teplotám než mají obvyklé pryže, na vysokou odolnost proti stárnutí vlivem klimatických podmínek a UV záření. Mají i dobré elektroizolační vlastnosti. Lze je lepit. Různé kroužky, manžety, prachovky, průchodky, záslepky, dorazy, membrány a další díly. /3/

Silikontextilní hadice

Silikontextilní hadice ze silikonového kaučuku a sklotextilní nebo polyesterové tkaniny, popřípadě z tkanin z aromatických polyamidů. Silikonový materiál zaručuje odolnost výrobku při širokém teplotním rozmezí (-50 °C až +230 °C) a textilní výztuha zajistí vyšší tlakovou odolnost.

Silikonové folie

Silikonové desky v síle od 1 do 20 mm k vysekávání plochých těsnicích prvků pro izolaci, tlumení a těsnění tepelně namáhaných zařízení.

2.4.5 Použití v běžném životě

Dudlíky a šidítka

Dudlíky, kousátka a silikonové části šidítek jsou vyráběny z tekutých silikonových kaučuků vstřikováním s následnou dovulkanizací. Použitý materiál je dvousložkový, zdravotně nezávadný silikonový kaučuk. /3/

Silikon v kuchyni

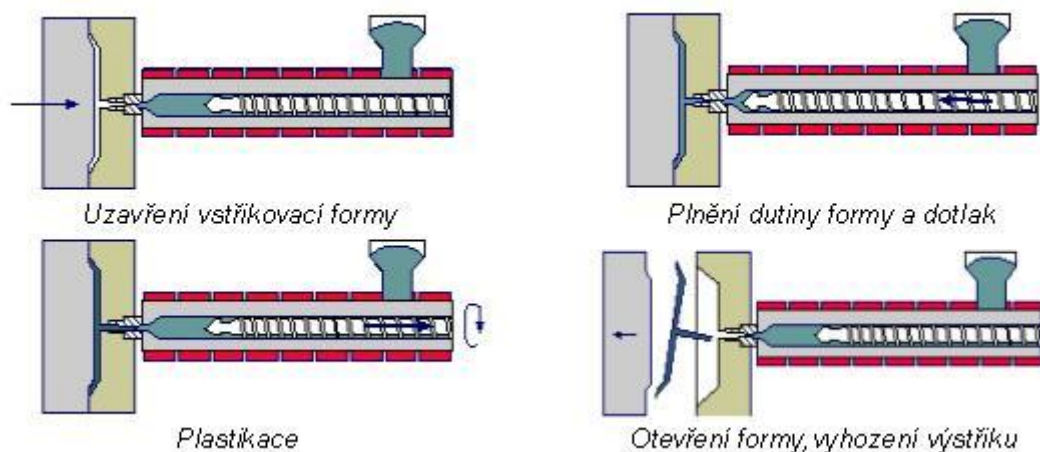
Silikon představuje novou generaci pečení. Z těchto forem pokrmy snadno vyklopíte a navíc můžete péci bez vymazávání a pomoučování stěn forem. Jejich další výhodou je výborná skladnost. Mohou být složeny či srolovány a vždy se vrátí do původního tvaru. Díky jejich vysoké tepelné vodivosti jsou i úsporné. Doba pečení se zkrátí až o třetinu. Formy nepohlcují žádné pachy a jsou hygienické. /13/

2.5 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ/14/

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstřikování jsou krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou, ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem.

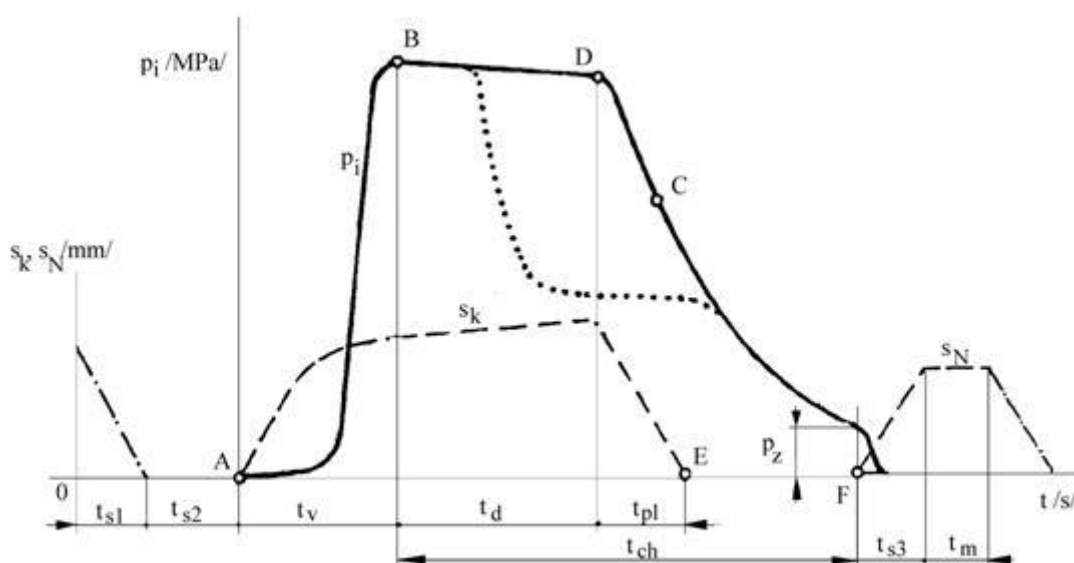
Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje.

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy.



Obr. 2.7: Vstřikovací cyklus /14/

Vstřikovací cyklus však můžeme posuzovat i z hlediska zpracovávaného plastu a s výhodou jej vyjádřit jako závislost tlaku v dutině formy na čase. Tento tlak se nazývá vnitřní tlak a značí se p_i . Kromě vnitřního tlaku existuje i vnější tlak, označovaný p , kterým se myslí tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku.



Obr. 2.8: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování

s_k – pohyb šneku, s_n – pohyb nástroje /14/

Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu, pohyblivá část formy se přisune k pevné, forma se zavře a uzamkne – strojní časy. Tyto činnosti je nutné odlišit, protože na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisouvací síla F_p , zatímco na uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu F_u (až

tříkrát vyšší), neboť musí být zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování neotevře. Následuje pohyb šneku v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a vlastně plní funkci pístu. Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak dosáhne maximální hodnoty.

Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a na dobu chlazení při klesajícím tlaku. Doba chlazení je závislá na teplotě formy T_F a tloušťce stěny výrobku. Během chladnutí se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem, a aby se na výstřiku netvořily propadliny a staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy – dotlak. Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak nebo se může po několika sekundách snížit a další chladnutí probíhá při sníženém tlaku. Dotlak se proto rozděluje na izobarický a izochorický. Abychom mohli dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu - polštář, na který bude šnek působit svým čelem. Tento objem nesmí být moc velký (obvykle kolem 10 až 15 %, méně než jednonásobek průměru šneku D), aby nedocházelo k tepelné degradaci hmoty.

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak neboli zpětný tlak. Výška protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl způsobit až degradaci plastu. Ohřev plastu během plastikace se děje jednak převodem tepla ze stěn válce, jednak frikčním teplem, které vzniká třením plastu o stěny komory a o povrch šneku a dále přeměnou hnětací práce šneku v teplo. Jestliže je tavicí komora opatřena samouzavíratelnou tryskou, může plastikace probíhat i při otevřené formě. Dále může anebo nemusí následovat odsunutí tavicí komory od formy. Během pokračujícího chlazení tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod nímž se hmota nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Příliš vysoký zbytkový tlak je příčinou vysokých vnitřních pnutí ve výstřicích, které u křehkých hmot mohou způsobovat až samovolné praskání výstřiku. Zbytkový tlak lze snížit buď zkrácením doby dotlaku anebo programovaným průběhem tlaku během dotlaku. Po dokonalém zchladnutí výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí z formy.

2.5.1 Popis a vliv jednotlivých časů vstřikovacího cyklu

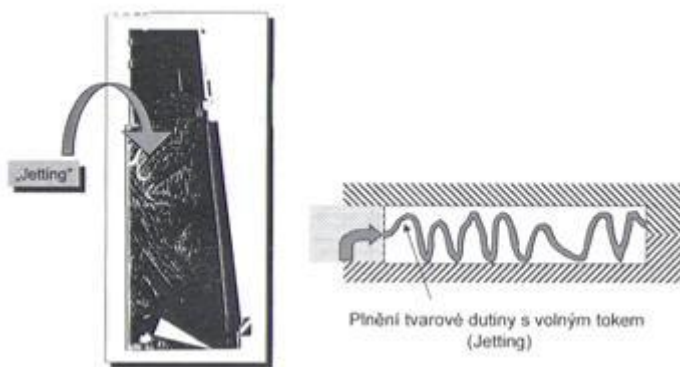
Jednotlivé úseky vstřikovacího cyklu trvají různě dlouho a jsou mimo jiné ovlivněny např. geometrií výstřiku a technologickými podmínkami vstřikování.

2.5.1.1 Strojní doby

Strojní doby na zavření formy t_{s1} a na otevření formy t_{s3} závisí na rychlosti pohybující se formy a na dráze, kterou musí forma urazit. Dráha otevření formy je dána rozměrem výstřiku ve směru otevírání formy a musí být tak velká, aby bylo možno výrobek z formy vyjmout, případně aby bylo dost prostoru pro činnost manipulátoru ve formě. Je snaha zkrátit strojní časy na minimum. Toho se dá dosáhnout zvýšením rychlosti pohybující se formy. U moderních strojů není tato rychlost po celé dráze stejná, nýbrž při zavírání se forma z počátku pohybuje velkou rychlostí, avšak těsně před dosednutím formy se rychlost sníží, aby obě části formy na sebe dosedly měkce a forma se nárazem nepoškodila. Podobně i při otevírání formy je nejprve její rychlost vysoká a před dojezdem formy na doraz se rychlost sníží, aby vyhození výrobku z formy probíhalo pomalu. Celková doba strojních časů t_{s1} , t_{s2} , t_{s3} nepřesahuje u strojů střední velikosti několik málo sekund. Kromě strojních časů, jež jsou součástí vstřikovacího cyklu, jsou další strojní doby překryty dobou chlazení.

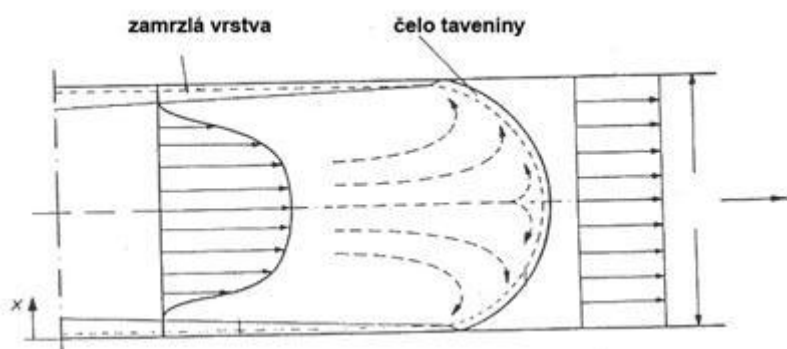
2.5.1.2 Doba vstřikování

Doba plnění dutiny formy t_v se odvíjí od rychlosti vstřikování, tj. od rychlosti pohybu šneku vpřed, která závisí na technologických podmínkách, zejména na teplotě taveniny T_{lav} a na vstřikovacím tlaku p . Vliv však má i teplota formy, objem výstřiku a jeho geometrický tvar, dále řešení vtokové soustavy a druh plastu. Je však nutné si uvědomit, že k určité hodnotě vstřikovací rychlosti patří určitá hodnota vstřikovacího tlaku, nebo-li nelze nastavovat velkou vstřikovací rychlost při nízkém tlaku. U složitých výrobků a u výrobků s vysokými požadavky na kvalitu povrchu a přesnost výroby je možné programovat průběh rychlosti vstřikování. Vysoká vstřikovací rychlost má příznivý vliv na orientaci makromolekul, ale je zde i nebezpečí přehřátí a degradace materiálu. Doba plnění se pohybuje od zlomku sekundy do několika málo sekund u výstřiků s velkou hmotností. Doba plnění má být co nejkratší, protože vstřikovaná tavenina se stykem s chlazenou formou ochlazuje a ztrácí tekutost, takže při dlouhé době by nezaplnila celou dutinu a vznikl by nedostříknutý zmetek. Proces plnění se musí řídit tak, aby tavenina nevtékala do formy volným tokem, ale aby materiál vtékal do formy postupně. Při postupném plnění, laminárním toku, se jedná o složitý mechanismus tuhnutí vrstev taveniny. Teplota formy je mnohem nižší, než teplota taveniny (zhruba 3 až 4krát) a tak tavenina při styku se stěnou formy okamžitě ztuhne a vytvoří vrstvu nepohyblivé hmoty a zároveň i vrstvu tepelné izolace.



Obr. 2.9: Plnění volným tokem /14/

Uvnitř je potom plastické jádro s nízkou viskozitou, umožňující další průtok taveniny plastu do dutiny formy, která se potom roztéká směrem ke stěnám, až dojde k zaplnění tvarové dutiny formy. Vzhledem ke zvyšování viskozity směrem ke stěně formy dochází k rostoucí rychlosti v plastickém jádru a k zakřivení čela. Pokles tlaku je potom směrem ke stěně formy.



Obr. 2.10: Laminární tok taveniny plastů /14/

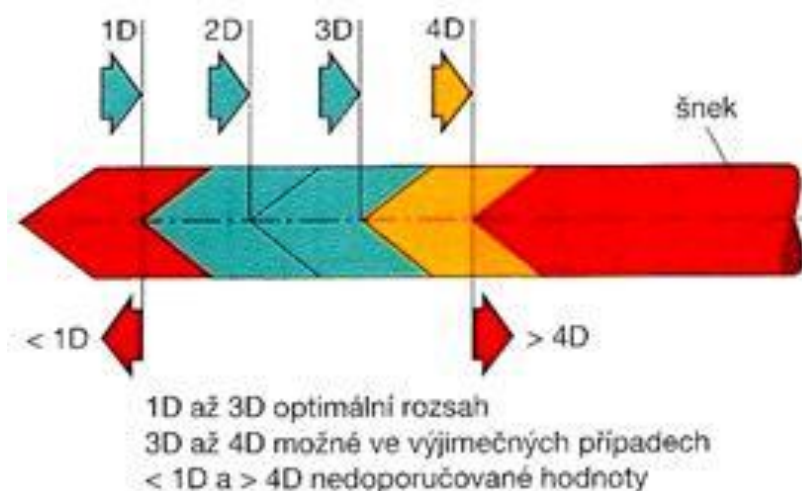
2.5.1.3 Doba dotlaku

Po naplnění tvarové dutiny formy následuje stlačování hmoty, kdy tlak prudce stoupne a rychlost náhle klesne. Pokud by tlak zůstal na původní hodnotě, došlo by ke vzniku tlakové špičky, ke zvětšení hmotnosti a rozměrů výstřiku a k vysokému namáhání formy, které by mohlo vést k pružnému prohnutí formy, tzv. dýchnutí. Aby se zamezilo těmto jevům je nutné v určité době snížit vstřikovací tlak, tzn. přepnout na dotlak. Je-li přepnutí opožděné stoupne tlak příliš vysoko a dojde k výše popsaným jevům. Při předčasném přepnutí dochází k opačným jevům a je zde až možnost nedostříknutého výrobku. K přepnutí na dotlak může dojít buď podle dráhy šneku, nebo podle vstřikovacího času, nebo podle tlaku ve formě a nebo podle tlaku v hydraulice. Doba dotlaku t_d závisí hlavně na průřezu vtokového kanálu a zpravidla činí několik sekund až desítky sekund. Účelem je dodávání materiálu do formy a tím tedy kompenzování smrštění během chladnutí, aby nevznikly propadliny a staženiny. U strojů s optimalizací procesu lze průběh dotlaku optimalizovat. V první fázi

je dotlak vyšší, aby se využilo vysoké tekutosti taveniny a ke konci se dotlak sníží, aby se omezila orientace v okolí vtoku.

2.5.1.4 Doba plastikace

Doba plastikace t_{pl} je čas, který je potřebný k tomu, aby došlo k zplastikování dávky plastu a k jejímu rovnoměrnému zhomogenizování a umístění dávky před čelo šneku, tzv. polštáře. Velikost zplastikované dávky musí zabezpečit naplnění tvarové dutiny formy a vtokového systému, ale i kompenzovat změnu objemu, vyvolanou smrštěním. Je však nutné si uvědomit, že se posuvem šneku vzad snižuje účinná délka šneku, a proto musí být zpětný tlak zvyšován. Teplo, potřebné k roztavení jedné dávky, je asi z jedné třetiny dodáváno z elektrického odporového topení a asi ze dvou třetin z tření hmoty při hnětení.



Obr. 2.11: Možné dávkovací dráhy u vstřikovacích strojů /14/

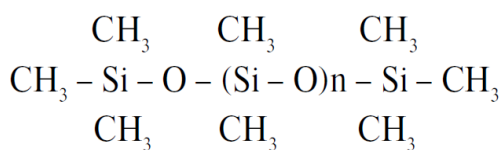
2.5.2 Doba chlazení

Doba chlazení t_{ch} představuje největší část cyklu a pohybuje se od několika sekund u tenkostěnných výstřiků do několika málo minut. Závisí na určující tloušťce stěny výstřiku, na druhu plastu, teplotě taveniny, teplotě formy a na teplotě výstřiku v okamžiku vyjímání z formy. Je snaha ji zkrátit na minimum účinným chlazením formy, zejména těch míst, v nichž hmota chladne nejpomaleji. Chladnutí začíná již během fáze vstřikování a pokračuje během dotlaku a dochází ke značným změnám stavových veličin, tlaku, měrného objemu a teploty. Fáze chladnutí ovlivňuje nejenom strukturu, tj. orientaci, krystalizaci a vnitřní pnutí, ale také kvalitu povrchu, zejména lesk.

2.6 POUŽITÍ SILIKONOVÝCH ADITIV V POLYMERECH

2.6.1 Používaná aditiva

Jako aditiva se v polymerech používají siloxany, což jsou vysoce účinné interní a externí maziva. Tyto plastové přísady nabízejí řadu významných výhod, zpracování a povrchové vylepšení, jako je poškrábání a odolnost proti otěru při současném snížení tření. Tyto materiály se používají již mnoho let, z důvodu dodávání těchto materiálů v tekutém stavu však bylo obtížné použití v celém spektru materiálů a rovněž tak bylo problematické dávkování.



Obr. 2.12: Chemická struktura siloxanů /15/

Moderní siloxany jsou sice založeny na běžných siloxanových komponentech, ale různorodých nosičích, které mohou být použity v jakémkoli polymeru. Díky velmi vysoké molekulové hmotnosti, které už nemají problémy s povrchovou adhezí plastových výrobků např. při lakování, jak tomu bylo u konvenčních výrobků, kdy byly hlavním problémem molekuly silikonu difundující k povrchu. Naopak jsou molekuly silikonu rovnoměrně rozloženy v celém objemu výrobku. Je tak možno zvýšit například odolnost plastových povrchů vůči poškrábání bez toho, aby byly negativně ovlivněny potiskovatelnost a lakovatelnost.

Moderní Masterbatche mohou být používány jednak jako technologické pomůcky při kompaundování, extrudování a při injekčním vstřikováním, a na druhé straně také k modifikování povrchu např. k nastavení adhezního a kluzného tření nebo ke zvýšení odolnosti vůči poškrábání. Konvenční kapalně nízkomolekulární siloxany slouží naproti tomu takřka výhradně ke snížení adhezního a kluzného tření na povrchu. V mnoha aplikacích navzdory vyšším počátečním nákladům jsou efektivnější již při malém dávkování a tím dochází k úspoře nákladů.

2.6.1.1 Rozdíl mezi konvenčními a vysoce molekulárními PDMS

Konvenčně dodávané PDMS, které jsou používány jako pomůcky pro zpracování, mají viskozitu v oblasti mezi 10.000 až 60.000 mPas⁻¹. Až do podílu 10 % je možno zpracovat směs snadno a až do podílu 25 % s potížemi. Řada moderních siloxanových masterbatchů je naproti tomu založena na siloxanech s vysokou molekulární hmotností (UHMW PDMS) s viskozitami kolem 20.000.000 mPas⁻¹ (tedy 300 až 2000 krát vyššími, které je možno si představit jako velmi ztuhlý med!), které je možno zpracovat do termoplastické matrice v podstatně vyšším podílu.

2.6.1.2 Rozdílné chování nízko a vysokomolekulárních PDMS

Když jsou konvenční siloxany přidávány do termoplastu, tvoří relativně velké, nepravidelně tvarované domény. Kapalina je mobilní jak v tavenině, tak také ve ztuhlém polymeru, čímž se tvoří distribuční gradient s velmi vysokou povrchovou koncentrací. Vysoce molekulární siloxan, který je používán pro řadu moderní řady masterbatchů se oproti tomu chová jinak a disperguje homogenně přes celý objem. Přesná velikost částic závisí na termoplastické fázi a nachází se v oblasti mezi 2 - 20 μm . Nezávisle na tom, zda je termoplast ve stavu roztaveném nebo ztuhlém, zůstává homogenní rozdělení zachováno, siloxan nemigruje, netvoří koncentrační gradient a nehromadí se na povrchu. Nutným předpokladem jsou homogenní promíchání MB pelet se surovým materiálem a optimální zpracování.

2.6.2 Formy používaných aditiv /16/

1. Koncentráty

Siloxanové koncentráty (označovány jako siloxanové masterbatche) jsou vyráběny pro snadnější použití v pevné formě. Obvykle obsahují 25 až 50% polymerů s ultra vysokou molekulovou hmotností (> 15000000 cSt). Jsou rozptýleny v různých termoplastech s průměrnou velikostí částic 5 mikronů.

Polymerní složka siloxanové masterbatche eliminuje rozpad, stejně jako migraci tekutin a dalších organických plastových přísad, které mohou nastat při použití materiálu s nižší molekulovou hmotností.

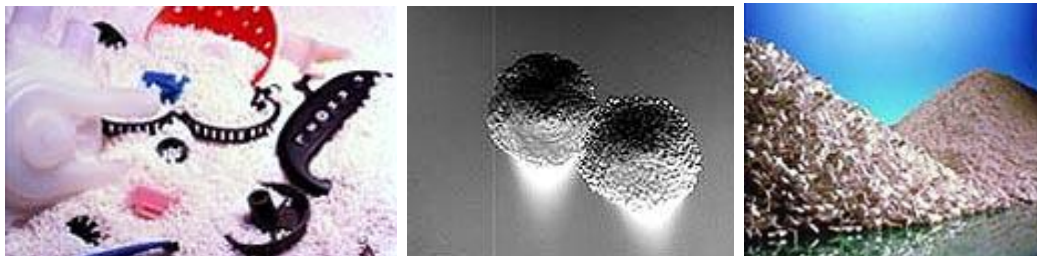
Tyto speciální koncentráty se obvykle používají:

- * K úpravě povrchu hotových plastových dílů pro snížení tření
- * Ke zlepšení materiálových vlastností a odolnosti proti opotřebení
- * Jako procesní prostředky ke zvýšení toku taveniny a pro snížení doby cyklu

Při nízkých koncentracích (0,1 - 1,0%) mají siloxanové koncentráty vliv na:

- * Větší účinnost promíchání
- * Zlepšení toku polymeru a plnění formy
- * Snížení doby cyklu
- * Nižší otáčky šneku
- * Usnadnění odformování

Při koncentraci 1% až 5% můžou siloxany poskytovat výrazně lepší povrchové vlastnosti materiálu, včetně lepšího mazání, lesku a skluzu, zlepšení rázové odolnosti a odolnosti proti poškrábání, působí též jako nukleací činidla umožňující růst krystalických zárodků. Siloxany můžou výrazně snížit součinitel tření polymeru bez vlivu na dokončovací operace, jakými jsou např. pokovení, lakování a potiskování.



Obr. 2.13: Formy koncentrátů masterbatchů ve formě pelet.

Pro zpracování se používají v dávkování:

- nízké koncentrace: 0,2 – 1%
- vyšší koncentrace: 1 – 5%
- vysoké koncentrace: až 10%

2. Prášky

Siloxanové prášky (známé také jako modifikátory pryskyřice) jsou 100% účinné, sypké prášky. Jsou k dispozici též ve speciálním provedení s ultra vysokou molekulovou hmotností siloxanu (> 15000000 cSt). Velikost částic těchto materiálů je 40 mikronů, což minimalizuje prašnost. Při jejich zpracování v extruderech mají vlivem rozemletí pomocí šneku průměrnou velikost částic 2 až 5 mikronů.

Tyto jedinečné polymery se obvykle používají ke zlepšení ohnivzdorných vlastností a dalších vlastností konvenčních termoplastických pryskyřic.

Vliv při nízkých koncentracích (0,1 – 1,0%):

- * Větší účinnost promíchání
- * Zlepšení toku polymeru a plnění formy
- * Snížení doby cyklu
- * Nižší otáčky šneku
- * Usnadnění odformování

Hodnocení vlastností termoplastů se silikonovými aditivy

Při koncentraci 1 až 5%, můžou ovlivnit hoření materiálu, snížit míru uvolňování tepla, kouře, oxidu uhelnatého a jiných plynů vznikajících při hoření.

U vysoce plněných pryskyřic, můžou siloxanové prášky snížit množství nutných ohnivzdorných přísad, zlepšit zpracovatelnost a obnovení mechanických vlastností, jakými je například houževnatost, které jsou obvykle po přidání ohnivzdorných přísad. U neplněných termoplastů, můžou siloxanové prášky v koncentracích až do 15%, výrazně zvýšit houževnatost.

2.6.3 Příklady zlepšení technologických parametrů a materiálových vlastností po přidání silikonových aditiv

Příklad zlepšení povrchu materiálu přidáním stearátu vápenatého a přidáním vysokomolekulárního masterbatche při vytlačování. /16/



Bez mazadla

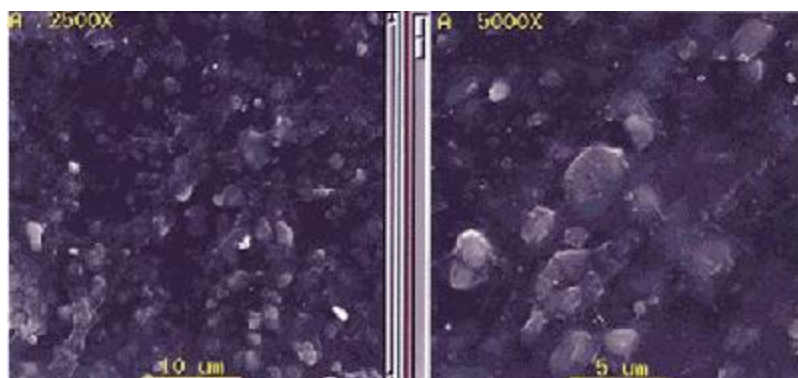
3%stearát vápenatý

3% MB 50 – 002

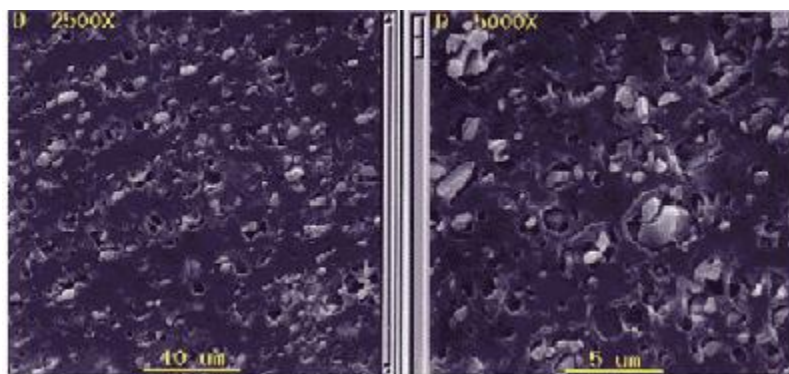
Obr. 2.14: Vliv na kvalitu povrchu při extruzi (materiál: LDPE plněný CaCO_3). /16/

Vliv na strukturu materiálu

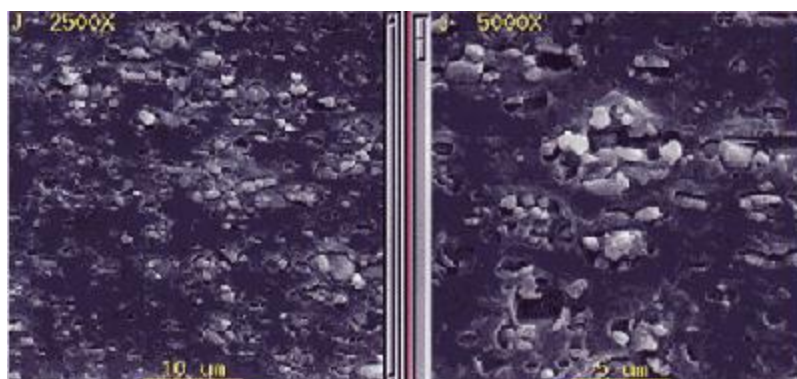
Na následujících obrázcích jsou fotografie na elektronovém mikroskopu pořízené struktury polyethylenu plněného karbidem vápníku s postupným přidavkem vysokomolekulárního masterbatche. Z fotografií je jasně patrné rovnoměrné rozložení materiálu i při přidavku silikonového aditiva. /17/



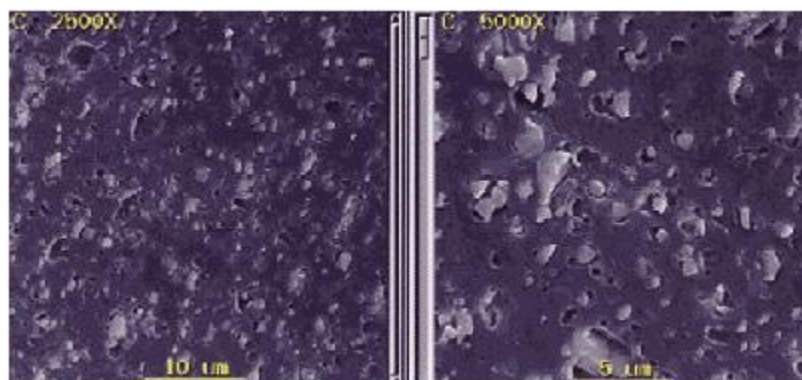
Obr. 2.15: Složení materiálu: 62.5% LDPE + 37.5% CaCO_3 /17/



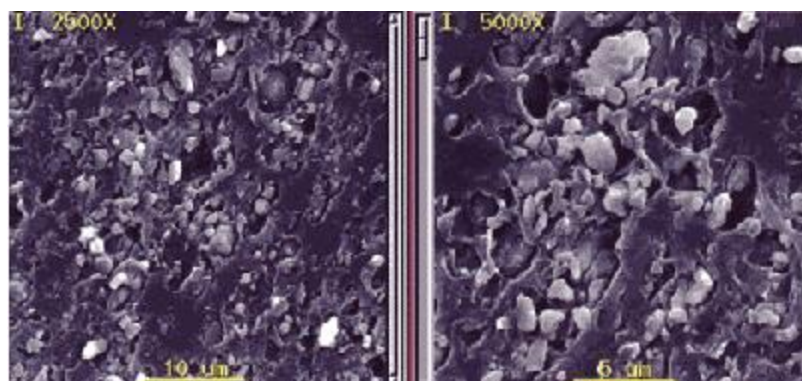
Obr. 2.16: Složení materiálu: 62.1% LDPE - 37.3% CaCO₂ + 0.6% MB50 002 /17/



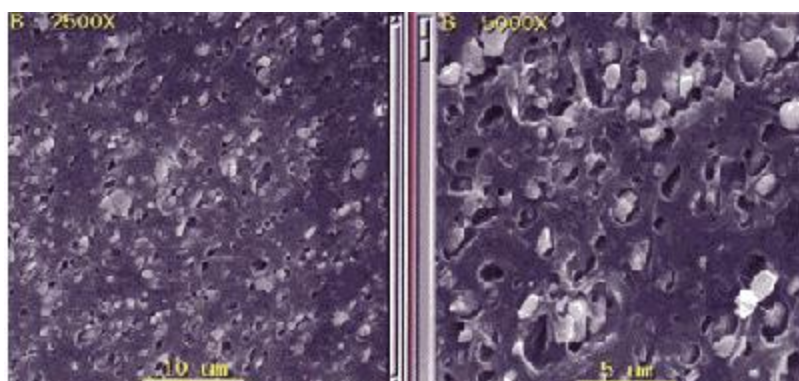
Obr. 2.17: Složení materiálu: 62.1% LDPE + 37.3% CaCO₃ + 0.6% Calcium Stearate /17/



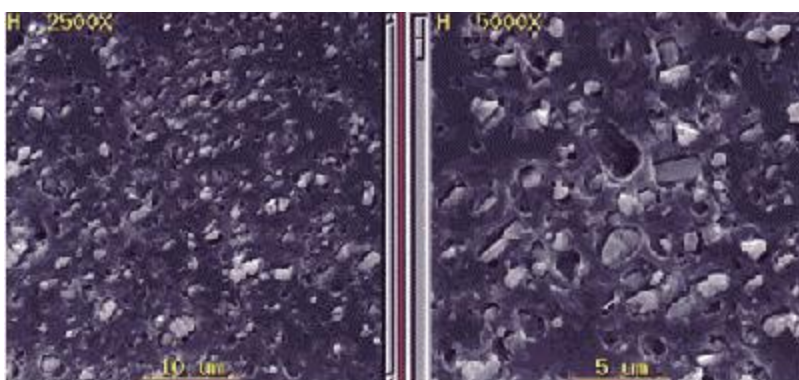
Obr. 2.18: Složení materiálu: 61.5% LDPE + 36.9% CaCO₃ + 1.5% MB50 002 /17/



Obr. 2.19: Složení materiálu: 61.5% LDPE + 36.9% CaCO₃ + 1.5% Calcium Stearate /17/

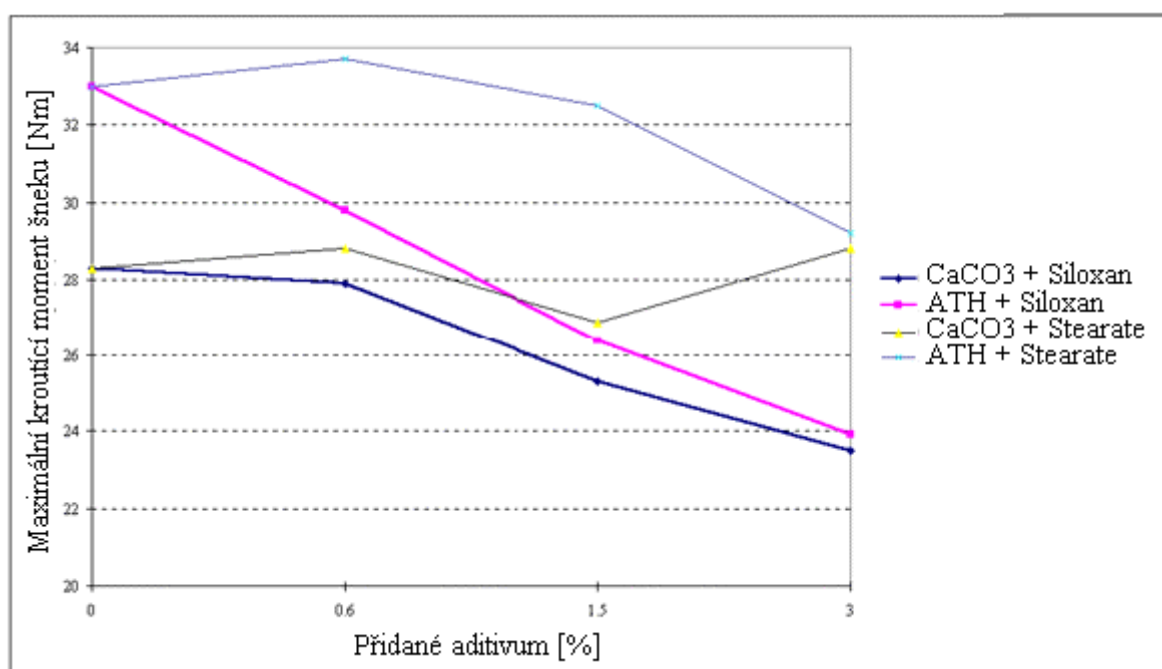


Obr. 2.20: Složení materiálu: 60.6% LDPE + 36.4% CaCO_3 + 3.0% MB50 002 /17/

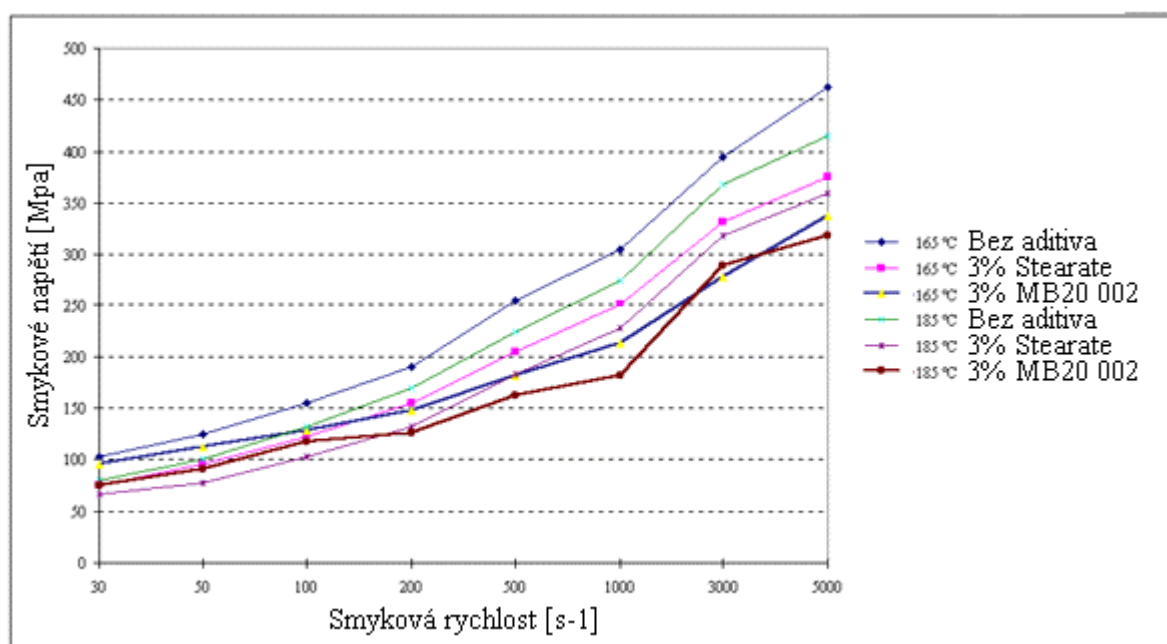


Obr. 2.21: Složení materiálu: 60.6% LDPE + 36.4% CaCO_3 + 3.0% Calcium Stearate /17/

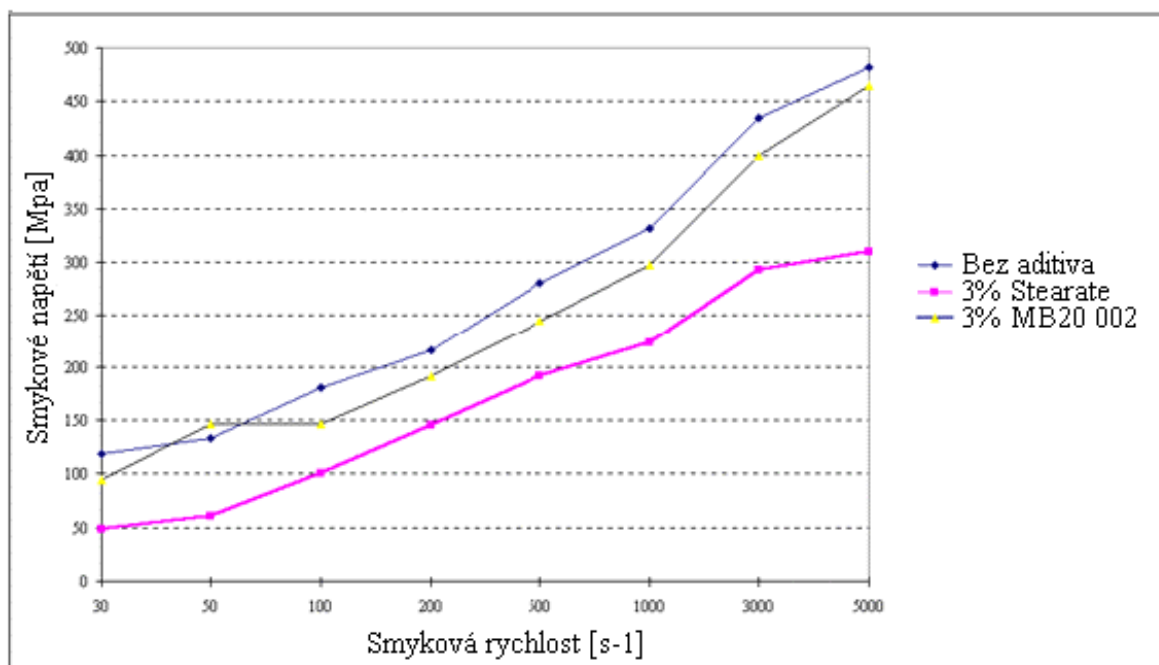
Graficky znázorněný vliv aditiv



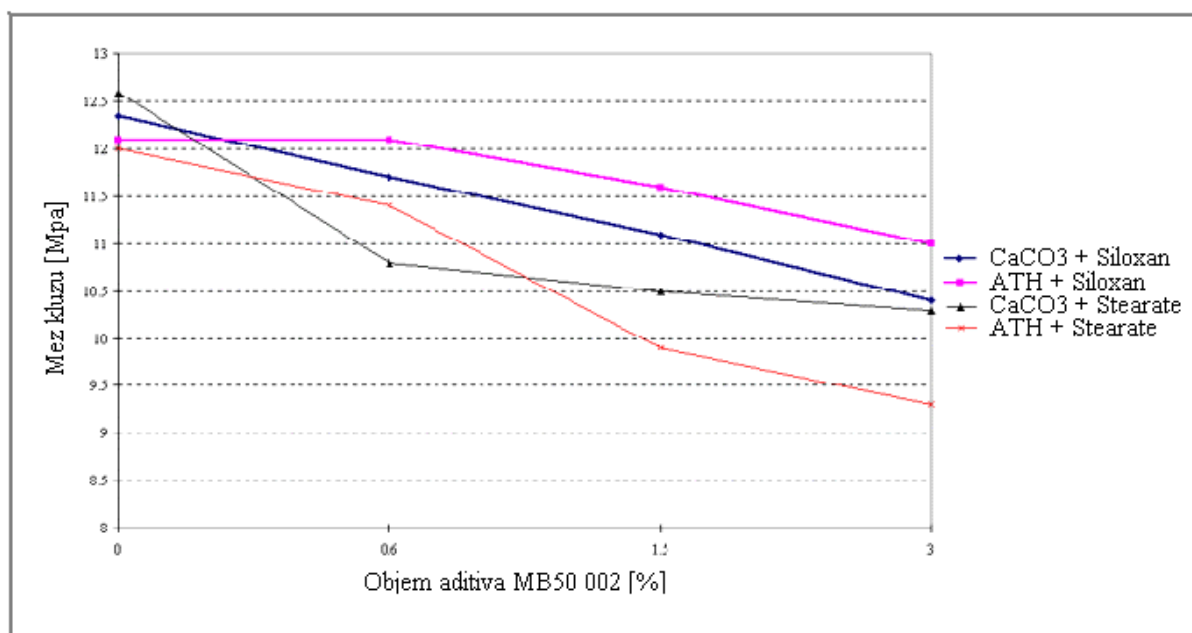
Obr. 2.22: Vliv maziva na krouticí moment šneku /17/



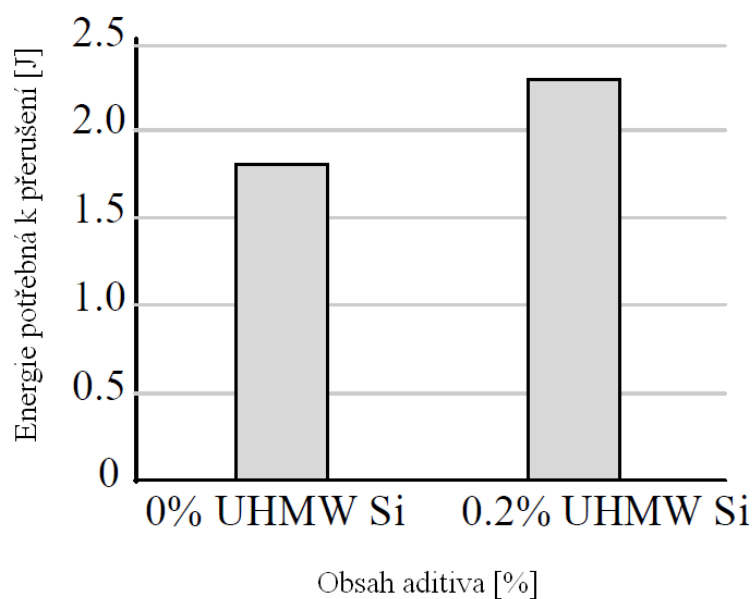
Obr. 2.23: Vliv maziva na smykové napětí za rozdílných teplot /17/



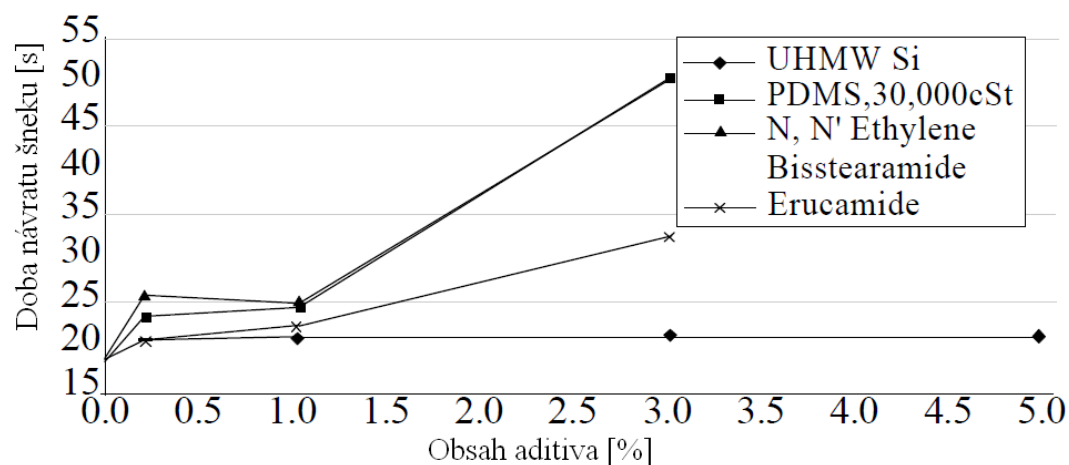
Obr. 2.24: Vliv maziva na smykové napětí za konstantní teploty /17/



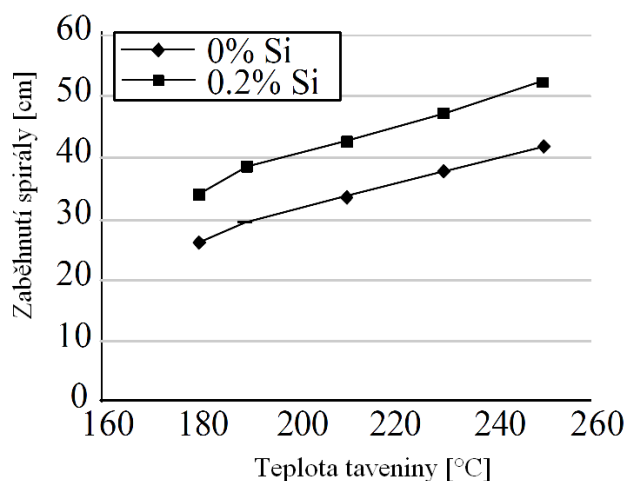
Obr. 2.25: Vliv maziv na mez kluzu /17/



Obr. 2.26: Vliv silikonového aditiva na pevnost svaru /16/



Obr. 2.27: Prokluz vstřikovacího šneku /16/



Obr. 2.28: Graf zabíhavosti materiálu v závislosti na obsahu aditiva a teplotě taveniny /16/

Příklad zlepšení zabíhavosti přidáním vysokomolekulárního masterbatche



Obr. 2.29: Spirálový test. Testovaný materiál PP homopolymer s $ITT = 7 \text{ g/10 min}$ (vlevo výsledek spirál testu bez aditiva, vpravo s 0,4% siloxanové masterbatche MB 50-001) /16/

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 ÚVOD

Cílem experimentální části bylo ověřit účinky silikonového aditiva v praxi a tím získat výstupy vhodné pro případné nasazení tohoto materiálu v sériové výrobě.

Kvůli přiblížení se běžným výrobním podmínkám bylo přistoupeno k trojnásobnému zpracování materiálu, čímž se ověřil vliv recyklace na vlastnosti materiálu.

Z důvodu prověření stálosti molekul silikonu a s tím spojené migrace k povrchu materiálu v přidaném aditivu byly veškeré vzorky podrobeny teplotnímu zatížení, jež bylo pro základní materiál ještě snesitelné, ale na přidané aditivum mělo již mít vliv v podobě rozštěpení jeho molekul na menší celky. V následující části práce jsou popsány veškeré postupy vstřikování vzorků, jejich zatížení, prováděných zkoušek včetně zhodnocení a diskuze výsledků.

3.2 MATERIÁLY POUŽITÉ PRO VÝROBU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

3.2.1 Základní materiál

Pro provedení testů byl po dohodě s firmou Magna z jejího výrobního programu vybrán jako základní materiál polypropylen Sabic PP 108MF10.

Jedná se o materiál používaný pro aplikace v automobilovém průmyslu určený pro zpracování vstřikováním. Tento materiál má dobrou tekutost, tuhost, houževnatost, dá se barvit a modifikovat různými přísadami.

Tab. 3.1: Vlastnosti základního materiálu. /18/

Vlastnosti materiálu	Hodnota	Jednotky	Testovací metoda
Materiálové vlastnosti			
Index toku taveniny (MFR)	10	g/10 min	ISO 1133
Hustota	1330	kg/m ³	ISO 1183
Mechanické vlastnosti			
Mez kluzu	27	MPa	ISO 527
Mez pevnosti	24	MPa	ISO 527
Prodloužení	10	%	ISO 527
Ohybový modul	2700	MPa	ASTM D 790
Rázová zkouška	3	kJ/m ²	ISO 180/4A

Izod -při 23°C			
Rázová zkouška Izod -při 0°C	2	kJ/m^2	ISO 180/4A
Rázová zkouška Charpy-při -40°C	4	kJ/m^2	ISO 179/1eU

3.2.2. Přísada

Do základního materiálu byla pro větší přiblížení se výrobním podmínkám firmy Magna zvolena talková přísada masterbatch Sabic 20 MBTF určená pro zpracování ve spojení s polypropylenem.

Jedná se rovněž o materiál používaný pro aplikace v automobilovém průmyslu určený pro zpracování vstřikováním s dobrou houževnatostí. Tento materiál má dobrou tekutost, tuhost, houževnatost, dá se barvit a modifikovat různými přísadami.

Materiál je dodáván jako šedý granulát obsahující 80% polypropylenu jakožto homopolymeru a 20% talkové složky.

Tab. 3.2: Vlastnosti základního materiálu. /19/

Vlastnosti materiálu	Hodnota	Jednotky	Testovací metoda
Materiálové vlastnosti			
Index toku taveniny (MFR)	10	$\text{g}/10 \text{ min}$	ISO 1133
Hustota	905	kg/m^2	kg/m^2
Koeficient lineární teplotní roztažnosti - od -30 do 30°C	120	E-6/K	ASTM D 696
Smrštění -24 h po vstřikování	1,5	%	Metoda SABIC
Mechanické vlastnosti			
Mez kluzu	19	MPa	ISO 527
Mez pevnosti	18	MPa	ISO 527
Prodloužení	500	%	ISO 527
Ohybový modul	950	MPa	ASTM D 790
Rázová zkouška Izod -při 23°C	Bez porušení	kJ/m^2	ISO 180/4A

Rázová zkouška Izod -při 0°C	Bez porušení	kJ/m ²	ISO 180/4A
Rázová zkouška Izod -při -20°C	10	kJ/m ²	
Rázová zkouška Charpy-při 23°C	Bez porušení	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Rázová zkouška Charpy-při -40°C	Bez porušení	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Tvrdost Shore D	62	-	ISO 868
Teplotní vlastnosti			
Teplotní deformace -při 0,45 MPa (HDT/B)	80	°C	ISO 75/B
Teplota měknutí dle Vicata -při 10 N (VST/A)	145	°C	ISO 75/B

3.2.3 Aditivum

Jako aditivum byl vybrán materiál DOW CORNING MB50-001, jedná se o vysokomolekulární siloxanový masterbatch řady MB 50, jež je založena na běžných siloxanových komponentech, ale různorodých nosičích, které mohou být použity v jakémkoli polymeru. Díky velkým molekulám silikonu a nízké tekutosti materiálu silikon nemigruje, netvoří koncentrační gradient a nehromadí se na povrchu. Díky tomuto složení si má materiál zachovat dobré užité vlastnosti při použití silikonových aditiv bez negativních vlivů, jakými jsou např. špatná lakovatelnost a svařitelnost. Pevný materiál nerozpustný ve vodě, při normálním způsobu použití je stabilní.

Jedná se o materiál zlepšující tekutost, snižující namáhání šneku, vstřikovací tlak, zlepšující odolnost materiálu proti oděru a zlepšující povrch výrobku.

Materiál je dodáván jako bílý granulát obsahující 50% polypropylenu jakožto homopolymeru a 50% vysokomolekulárního silikonu dispergovaného v základním materiálu a lze ho použít jak pro injekční vstřikování, tak pro vytlačování.

Pro zpracování se používá v dávkování:

-nízké koncentrace: 0,2 – 1%

-vyšší koncentrace: 1 – 5%

-vysoké koncentrace: až 10%

3.3 ROZDĚLENÍ POUŽITÝCH MATERIÁLŮ PRO VÝROBU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Pro veškeré zkoušky byly vzorky z jednotlivých materiálů rozděleny do 4 skupin:

- 1x vstřikovaný materiál
- 1x vstřikovaný materiál podrobený teplotnímu zatížení ve formě pobytu v peci po dobu 200 hodin při teplotě 150°C
- 3x vstřikovaný materiál (simulace recyklace)
- 3x vstřikovaný materiál podrobený teplotnímu zatížení ve formě pobytu v peci po dobu 200 hodin při teplotě 150°C

3.4 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES S ROZDÍLNÝM PROCENTUÁLNÍM OBJEMEM SILIKONOVÉHO ADITIVA

3.4.1 Určení procentuálního obsahu Si aditiva

S přihlédnutím k doporučeným procentům silikonových aditiv pro vstřikování bylo namícháno 5 směsí materiálu s různým procentuálním obsahem Si aditiva, který je pro přiblížení se výrobním podmínkám nejvýhodnější.

Poměry jednotlivých směsí byly zvoleny takto:

1. PP + 10 % talku
2. PP + 10 % talku + 0,5 % Si aditiva MB50-001
3. PP + 10 % talku + 1 % Si aditiva MB50-001
4. PP + 10 % talku + 2 % Si aditiva MB50-001
5. PP + 10 % talku + 4 % Si aditiva MB50-001

3.4.2 Rozdělení a značení jednotlivých vzorků

Jednotlivé směsi materiálu s různým zpracováním byly rozřazeny do následujících skupin:

Tab. 3.3: Rozdělení a značení jednotlivých vzorků.

OZNAČENÍ SKUPINY VZORKU	ZÁKLADNÍ MATERIÁL	OBSAH Si aditiva [%]	POČET ZPRACOVÁNÍ	TEPLOTNÍ ZATÍŽENÍ
A-1-0 B-1-0 C-1-0 D-1-0 E-1-0	Sabic PP 108MF10 + 20 % Sabic 20 MBTF (10 % talku]	0,0 0,5 1,0 2,0 4,0	1	bez teplotního zatížení
A-1-200/150 B-1-200/150 C-1-200/150 D-1-200/150 E-1-200/150	Sabic PP 108MF10 + 20 % Sabic 20 MBTF (10 % talku]	0,0 0,5 1,0 2,0 4,0	1	200 hod / 150 °C
A-3-0 B-3-0 C-3-0 D-3-0 E-3-0	Sabic PP 108MF10 + 20 % Sabic 20 MBTF (10 % talku]	0,0 0,5 1,0 2,0 4,0	3	bez teplotního zatížení
A-3-200/150 B-3-200/150 C-3-200/150 D-3-200/150 E-3-200/150	Sabic PP 108MF10 + 20 % Sabic 20 MBTF (10 % talku]	0,0 0,5 1,0 2,0 4,0	3	200 hod / 150 °C

S jednotlivým značením skupin vzorků bude pracováno i nadále.

3.5 ZAŘÍZENÍ POUŽITÁ K VÝROBĚ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ /20/

Vstřikování veškerých těles zkušebních vzorků probíhalo na zařízeních instalovaných v dílnách KSP TU v Liberci.

3.5.1 Vstřikovací lis

K výrobě výstřiků ve zvolených vstřikovacích formách byl použit šnekový bezsloupkový hydraulický vstřikovací stroj firmy Engel Victory 80/25 s mikroprocesorovým zařízením CC200 s dotykovou obrazovkou. Tento vstřikovací stroj má možnost automatického a poloautomatického provozu a volumetrické dávkovací zařízení.



Obr. 3.1: Vstřikovací lis Engel Victory 80/25

Tab. 3.4: Parametry vstřikovacího stroje

Parametr	Hodnota	Jednotky
Uzavírací síla	250	[kN]
Max. vstřikovaný objem	80	[cm ³]
Průměr šneku	22	[mm]
Napájení	400/50	[V/Hz]
Počet topných pásem	3	[-]

3.5.2 Temperační zařízení

Temperanční jednotka

Pro temperaci vstřikovací formy byl ve spojení se vstřikovacím lisem použit temperanční agregát TA3, který slouží především k temperaci vstřikovacích forem i vytlačovacích hlav extrudérů, kde je potřeba udržovat teplotu temperačního média na konstantní teplotě do 95°C. Tento agregát je vybaven regulátorem s PID zařízením a chlazením chladícím šnekem s oběhem studené vody.

Tab. 3.5: Parametry temperačního zařízení

Maximální teplota	95	°C
Topný výkon	3	kW
Výkon čerpadla	60	l/ min
Objem nádrže	5	l
Napájení	400 / 50	V / Hz



Obr. 3.2: Temperační zařízení

Sušárna na temperaci odložených forem

Pro temperaci forem, které nebyly právě ve vstřikovacím procesu používány a čekaly na zpětnou instalaci na vstřikovací lis pro výrobu dalších vzorků, byla použita sušárna určená pro sušení materiálu.



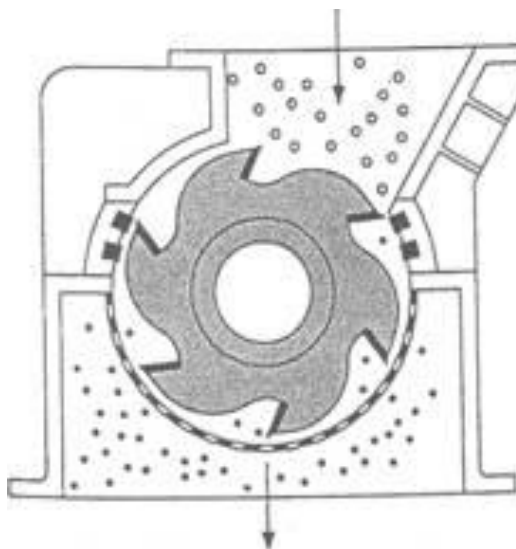
Obr. 3.3: Sušárna

3.5.3 Zařízení na mletí vzorků

Pro mletí a následnou recyklaci vstřikovaných vzorků byl použit nožový mlecí mlýn, který má jednak několik nožů uložených radiálně kolem rotoru (na statoru) a jednak nože umístěné přímo na rotoru. Velikost drtě je daná velikostí ok síta, umístěného v dolní části mlýnu. Výhodou těchto mlýnů je rovnoměrná velikost recyklátu s malým množstvím prachu, snadno se čistí a jemnost je dána velikostí oka síta. /14/



Obr. 3.4: Nožový mlýn



Obr. 3.5: Schéma nožového mlýnu

3.5.4 Zařízení na vážení jednotlivých směsí materiálu

Jednotlivé směsi byly postupně váženy na laboratorní váze AND GF-300 (rozsah: 0,02 – 310 g, e = 0,01 g, d = 0,001 g), která se v laboratoři primárně používá na stanovení hustoty.



Obr. 3.6: Laboratorní váha AND GF-300

3.6 VÝROBA A TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY VÝROBY VZORKŮ

3.6.1 Příprava materiálu

Pro tvorbu jednotlivých vzorků bylo vždy odváženo 5 kg materiálu od každého složení. Celkové množství materiálu bylo voleno s ohledem na celkovou potřebu vzorků včetně přihlédnutí na odpad vzniklý najížděním materiálu, rozjížděním formy a produkcí případných zmetků.

Veškeré směsi materiálu byly před samotným vstřikováním smíchány v plechových vaničkách, aby bylo zabezpečeno rovnoměrné složení směsi.



Obr. 3.7: Navážená směs materiálu

3.6.2 Volba vstřikovacích forem

S ohledem na konstrukci stroje a nutnost časté výměny forem během vstřikování byla pro vstřikování veškerých vzorků zvolena ocelová forma s vnitřním chlazením vodou, u níž byly vždy měněny jednotlivé vložky formy podle zvolených typů vstřikovaných těles, což zaručilo rychlou a pohodlnou výměnu forem během procesu při zachování požadovaných vlastností vzorků.

Jednotlivé formy měly definované rozměry a tvar dle příslušných norem zkoušení plastových materiálů.

Typy zvolených zkušebních těles:

-Zkušební těleso pro zkoušku tahem dle ČSN EN ISO 527

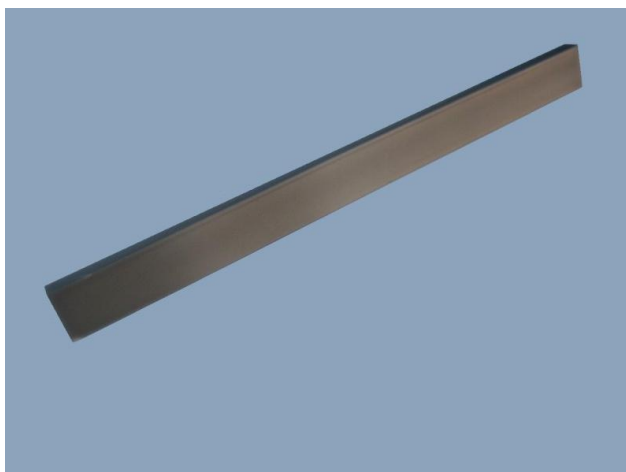


Obr. 3.8: Těleso pro zkoušku tahem

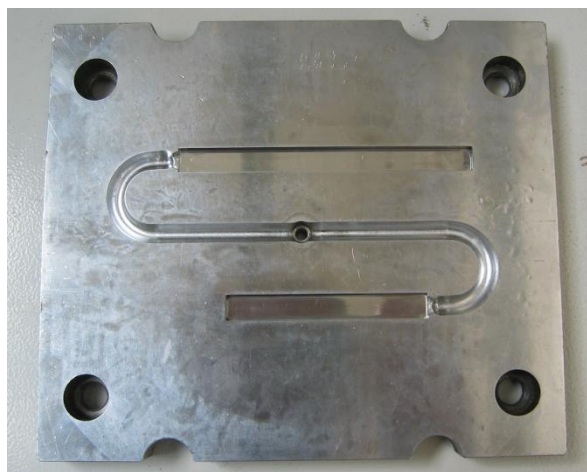


Obr. 3.9: Forma pro tělesa na zkoušku tahem

-Zkušební těleso pro ohybovou zkoušku ČSN EN ISO 178



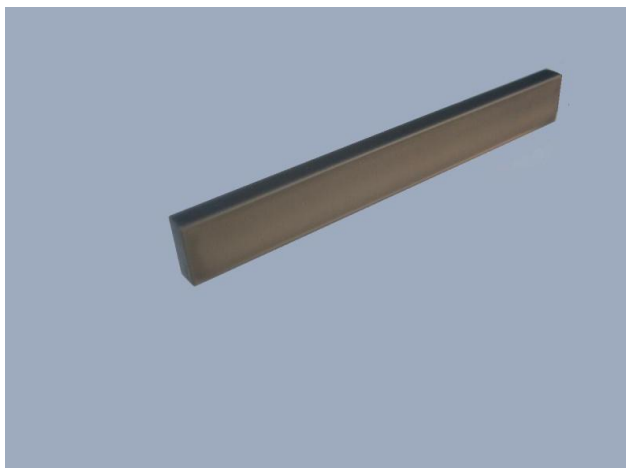
Obr. 3.10: Těleso pro ohybovou zkoušku



Obr. 3.11: Forma pro tělesa pro ohyb. a ráz. zk.

Hodnocení vlastností termoplastů se silikonovými aditivy

-Zkušební těleso pro rázovou zkoušku dle ČSN EN ISO 179

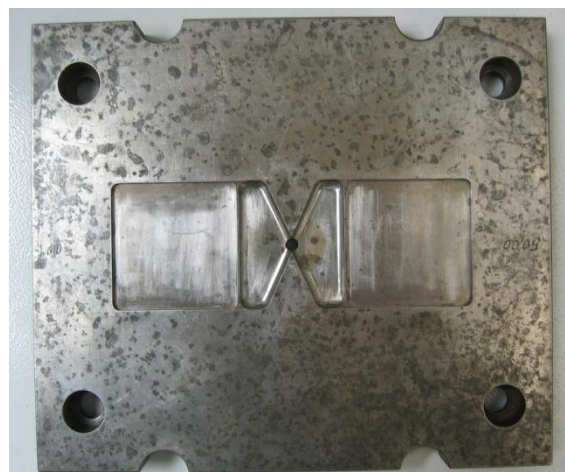


Obr. 3.12: Těleso pro rázovou zkoušku

-Zkušební těleso pro měření smrštění dle ČSN EN ISO 294-4 a zkoušku tvrdosti 50x50x3 mm dle ČSN EN ISO 868



Obr. 3.13: Těleso pro měření smršť. a zkoušku tvrdosti



Obr. 3.14: Forma pro těl. na smršť. a tvrdost

-Spirála pro zkoušku zabíhavosti



Obr. 3.15: Vzorek tělesa spirálové zkoušky



Obr. 3.16: Forma pro spirálovou zkoušku

-Vzhledová destička 120x120 mm pro zkoušku škrábatelnosti, lakovatelnosti, svařitelnosti a pro zjištění pohledových vlastností



Obr. 3.17: Pohledová destička 120 x 120 mm

3.6.3 Technologické parametry výroby

Technologické podmínky byly voleny s ohledem na použité materiály. Jednotlivé parametry jsou zaznamenány v tabulce 3.6.

Tab. 3.6: Nastavené technologické parametry

Technologické parametry nastavené na vstřikovacím stroji		
Nastavovaný parametr	Hodnota	Jednotky
Teploty topných pásem na válci (1, 2, 3)	225 - 220 - 180	[°C]
Teplota na trysce	230	[°C]
Teplota formy	45	[°C]
Uzavírací síla	250	[kN]
Vstřikovací rychlost	100	[mm/s]
Obvodová rychlost šneku	0,259	[mm/s]
Protitlak při šnekování	5	[bar]
Doba cyklu	60	[s]

Celková doba cyklu byla vždy u veškerých typů vstřikovaných vzorků stejná, stejně tak i při recyklaci materiálu, měnily se pouze hodnoty polštáře, tlaku při přepnutí na dotlak, dotlaku a chlazení.

3.6.4 První vstřikování materiálu

Před najeťím na sériovou produkci vzorků se musel celý proces odladit, a tudíž první vzorky byly zmetkovité produkce. Po ustálení procesu bylo naběhnuto na sériovou výrobu zkušebních těles. Odpad ve formě zmetků byl shromažďován pro pozdější recyklaci materiálu.

Během prvního zpracování materiálu pro finální výrobu zkušebních těles byly odečítány hodnoty tlaku při přepnutí na dotlak a polštáře, které byly následně zprůměrovány a zaneseny do grafů.

Během prvního procesu vstřikování nedocházelo k žádným významným technickým problémům, materiál ve formě granulátu byl z násypky volně dávkován do šneku. Se vzrůstajícím podílem Si aditiva se podle předpokladů zlepšovala odformovatelnost, což bylo v případě největšího podílu aditiva dosti patrné a výrobky z tohoto materiálu nepotřebovaly k vyhození z formy téměř pomoc vyhazovače. Dokonce i ohmatáním povrchu výrobků rukou bylo cítit, že výrobky z materiálu bez aditiva mají na omak výrazně hrubší povrch, než výrobky z materiálu s největším obsahem aditiva.

Z důvodu zachování co nejlepší pohledové části u vzhledových destiček byl proces vstřikování nastaven na poloautomatický provoz, byla vyřazena funkce vyhazovače a vzorky byly vyjímány z formy ručně. Tímto opatřením se předešlo poničení povrchu vzorků pádem do sběrné nádoby.

3.6.5 Druhé vstřikování materiálu

Jelikož cílem experimentu bylo simulovat recyklaci materiálu v běžných podmínkách provozu, nebyla mezi prvním a třetím procesem vstřikování provedena recyklace 1x vstřikovaného materiálu na negranulační lince, nýbrž prošel klasickým procesem vstřikování.

Veškerá zmetkovitá produkce a i vzorky materiálů, které byly podrobeny materiálovým zkouškám, byly rozemlety na mlecím mlýnu a následně bylo přistoupeno ke druhému procesu vstřikování.

Veškeré parametry procesu vstřikování byly pro lepší sledování kolísání hodnot tlaku při přepnutí a velikosti polštáře ponechány stejné s hodnotami prvního procesu vstřikování. Díky tomuto nastavení bylo možné sledovat rostoucí smrštění recyklovaného materiálu, které se projevovalo jemnými propadlinami.

Pro urychlení druhého procesu vstřikování byla použita jen jedna forma, do které se vstřikovaly vzorky z celého objemu jednotlivých materiálů. Pro svůj velký objem byla použita forma na vstřikování vzorků pro zkoušku tahem.

Vzhledem ke skutečnosti, že po rozemletí nebyl materiál již ve formě granulátu, ale nestejně velké velkých částic, nebyl pohyb materiálu v násypce plynulý a zasekával se. Kvůli této skutečnosti musel být proces vstřikování často zastavován a materiál byl v násypce sklepáván mechanicky.

Jednotlivé hodnoty tlaku při přepnutí na dotlak a velikosti polštáře nebyly zaznamenávány a následně zpracovávány, protože se jednalo jen o meziproces, ze kterého nebyly brány vzorky pro zkoušení materiálových vlastností.

3.6.6 Třetí vstřikování materiálu

Před začátkem finálního třetího vstřikování vzorků bylo opět všech 5 várek 2x vstřikovaného materiálu rozemleto na mlecím mlýnu a následně vstřikováno.

Pro objektivnější sledování změn materiálu přímo při výrobě byly opět veškeré parametry procesu vstřikování ponechány totožné s parametry prvního vstřikování.

Během procesu třetího vstřikování se kvůli nestejně velkému částicím materiálu opět projevoval problém s volným pohybem materiálu v násypce. Toto bylo opět řešeno jeho mechanickým sklepáváním.

Pořadí výměny forem bylo pro lepší následnou přehlednost výsledků zachováno taktéž.

Při procesu této druhé recyklace bylo zvláště na vzorcích určených pro zkoušku tvrdosti a smrštění a na pohledových destičkách vidět propadliny u krajů výrobku. Se vzrůstajícím procentem obsahu Si aditiva se opět lineárně zlepšovala odformovatelnost.

3.7 VÝSLEDKY ZKOUŠEK MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

3.7.1 Zkouška ohybem

Použité zařízení

Zkouška ohybem byla prováděna na zkušebních tělesech ve tvaru hranolu s rozměry 4x10x120 mm. Hodnocení ohybových vlastností polymeru bylo prováděno dle ISO 178. Ke zkoušení byl použit trhací stroj Hounsfield H 10 KT.

Zkoušení probíhalo vždy na 5 vzorcích od každého materiálu, vzorky byly do zkušebních čelistí kvůli směrodatnosti výsledků vždy zakládány stejným směrem (reliéfem nahoru, vtokem vpravo).

Tab. 3.7: Parametry průběhu zkoušky

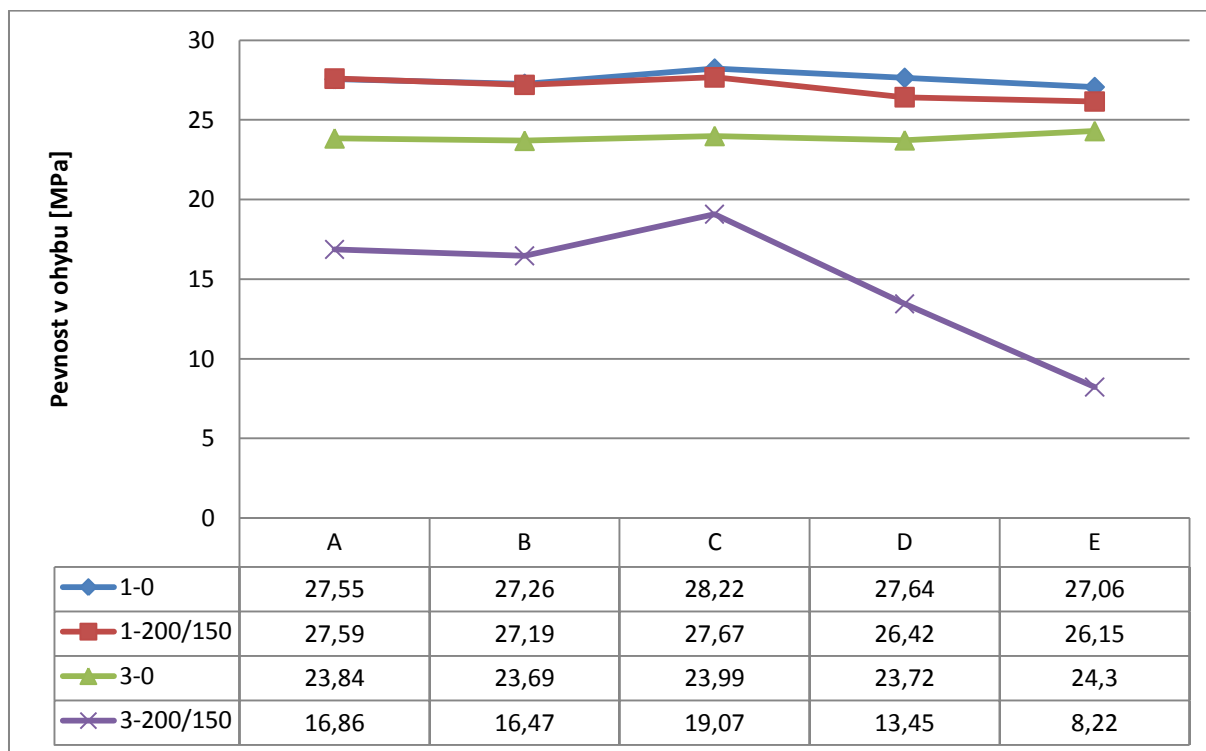
Zatížení	5000	kg
Rychlost	50	mm/min
Rozteč mezi spodními podpěrami	62	mm
Zdvih	22	mm



Obr. 3.18: Trhací stroj
Hounsfield H 10 KT

Výsledky zkoušky

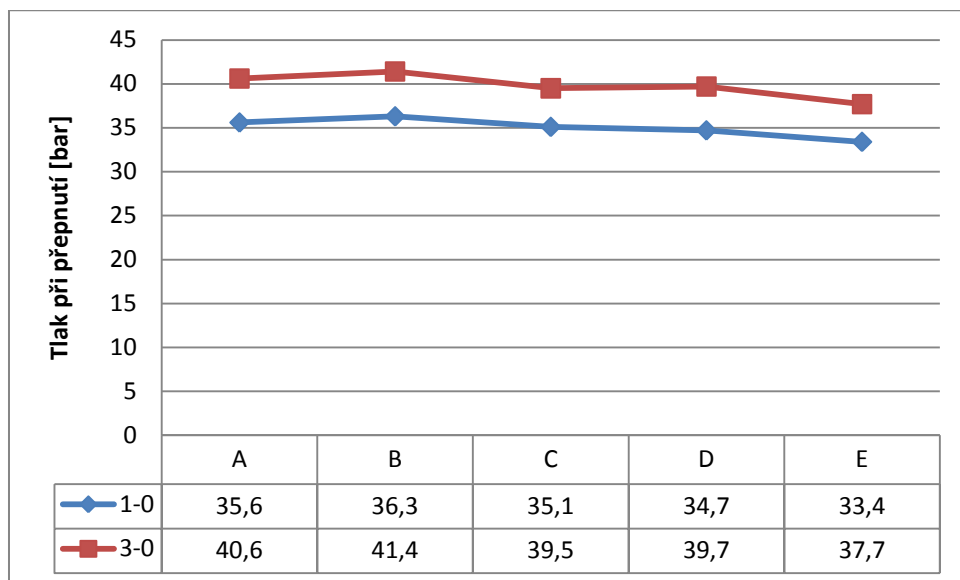
Průběh naměřené pevnosti v ohybu všech zkoušených materiálů jsou zpracovány do následujícího grafu.



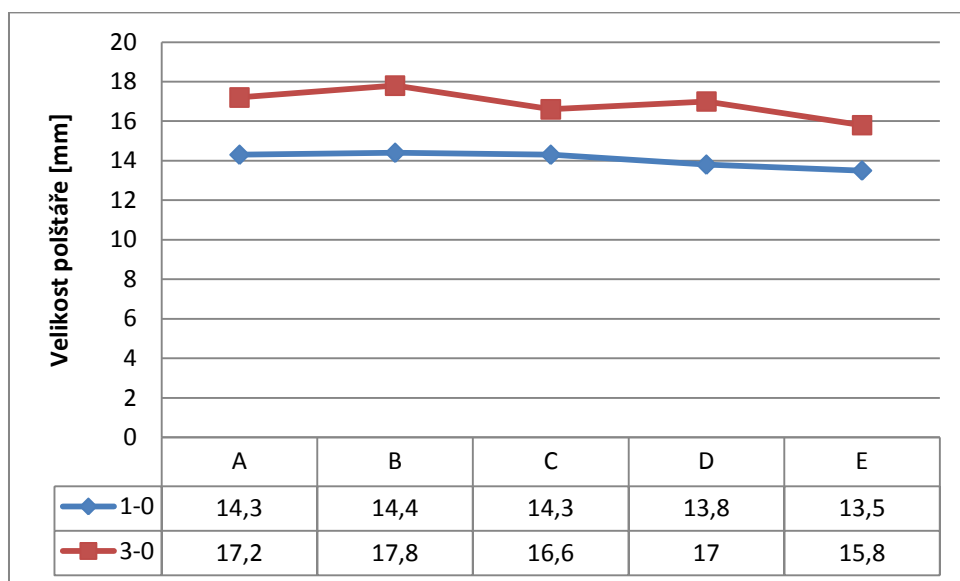
Obr. 3.19: Průběh naměřené pevnosti v ohybu

Průběh hodnot polštáře a tlaku při přepnutí na dotlak

Hodnoty tělesa pro rázovou a ohybovou zkoušku



Obr. 3.20: Hodnoty tlaku při přepnutí na dotlak



Obr. 3.21: Hodnoty velikosti polštáře

3.7.2 Zkouška tahem

Zkouška tahem byla prováděna na plochých zkušebních tělesech s rozměry namáhané části 4x10 mm a s celkovou délkou 150 mm. Hodnocení tahových vlastností polymeru bylo prováděno dle ISO 527. Ke zkoušení byl použit trhací stroj Hounsfield H 10 KT.

Zkoušení probíhalo vždy na 10 vzorcích od každého materiálu, vzorky byly do zkušebních čelistí kvůli směřovatnosti výsledků vždy zakládány stejným směrem (vtokem nahoru, reliéfem vpravo).

Jednotlivé naměřené hodnoty byly následně zprůměrovány a zpracovány do grafu (viz obr. 3.23 a 3.24)

Tab. 3.8: Parametry průběhu zkoušky

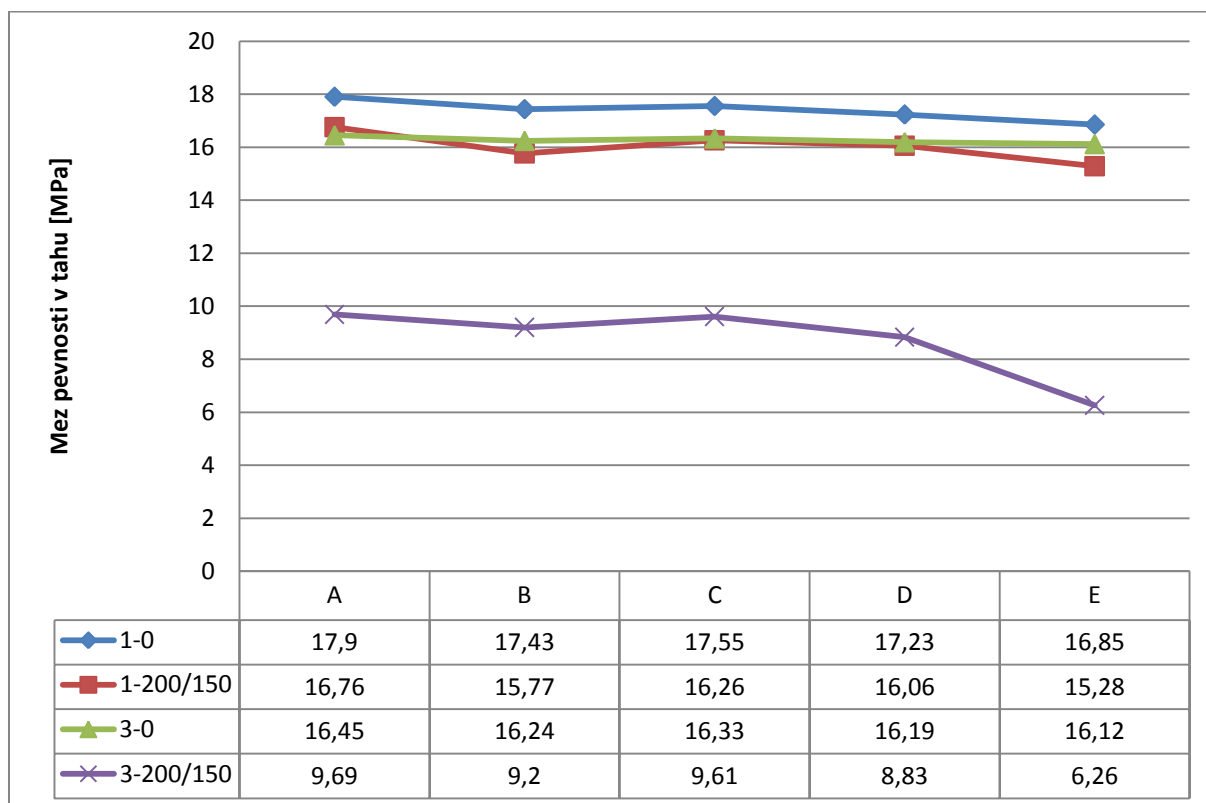
Zatížení	5000	kg
Rychlost	50	mm/min



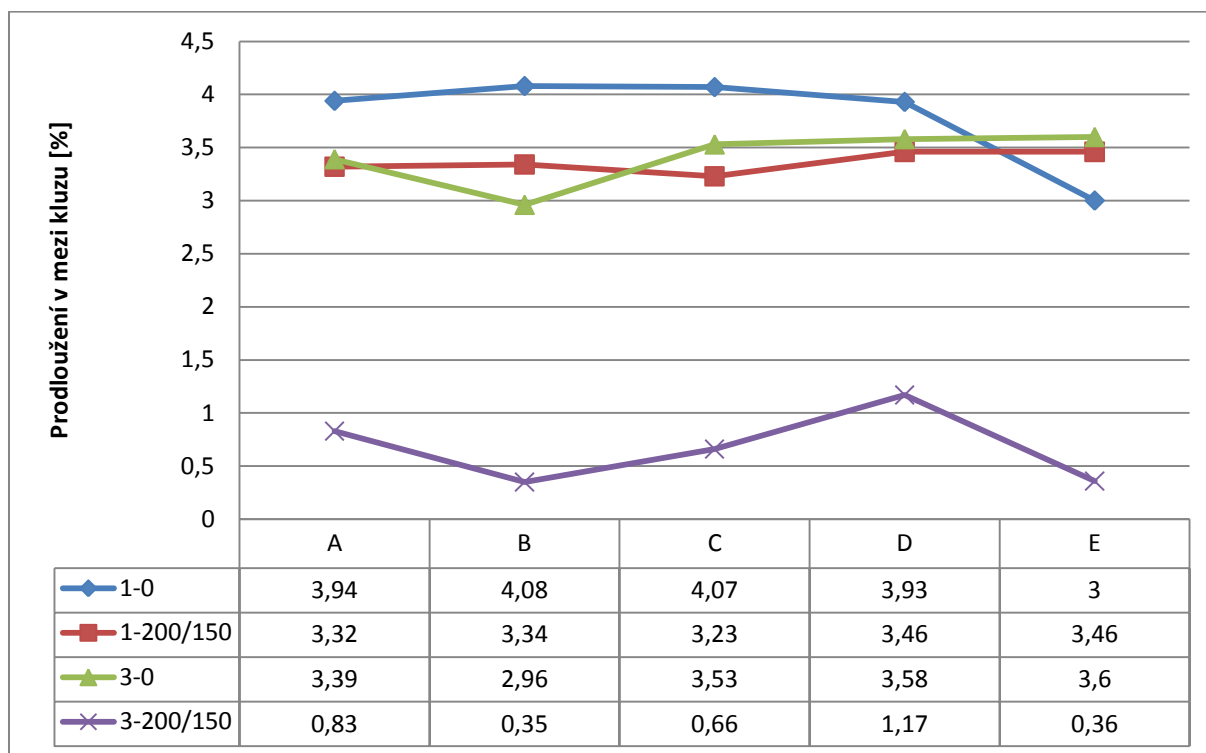
Obr. 3.22: Trhací stroj
Hounsfield H 10 KT

Výsledky zkoušky

Průběh naměřené pevnosti v tahu všech zkoušených materiálů jsou zpracovány do následujícího grafu.



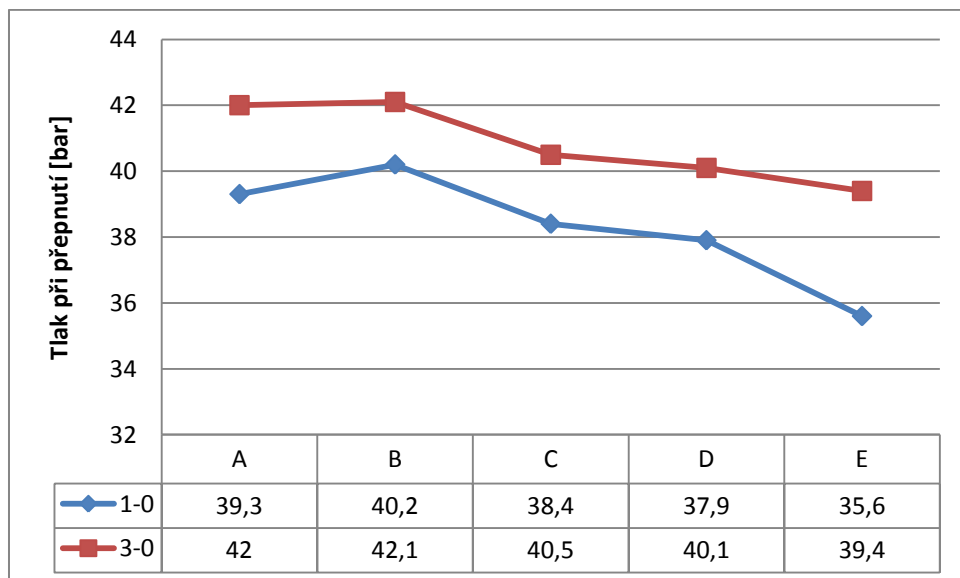
Obr. 3.23: Průběh naměřené meze pevnosti v tahu



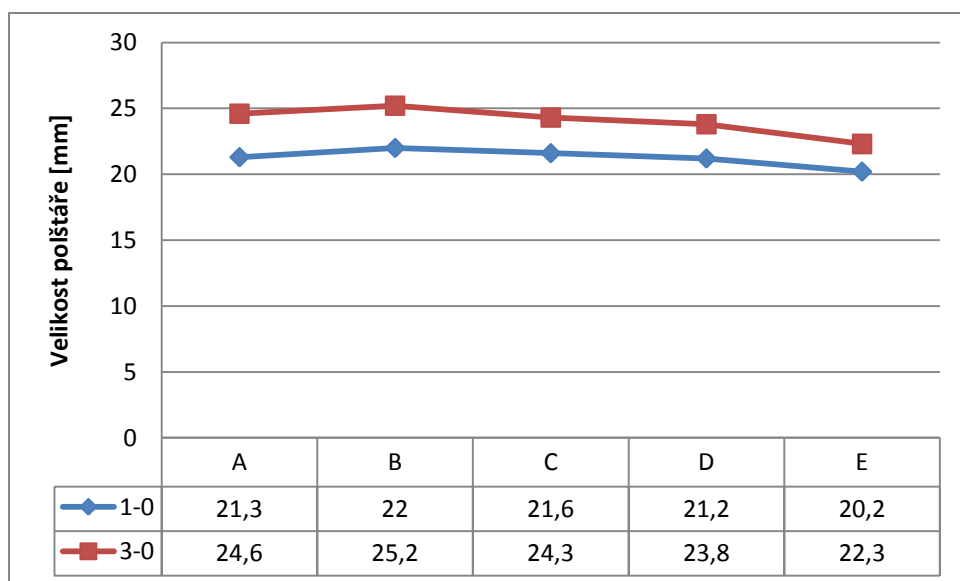
Obr. 3.24: Průběh naměřeného prodloužení v mezi kluzu

Průběh hodnot polštáře a tlaku při přepnutí na dotlak

Hodnoty tělesa pro zkoušku tahem.



Obr. 3.25: Hodnoty tlaku při přepnutí na dotlak



Obr. 3.26: Hodnoty velikosti polštáře

3.7.3 Rázová zkouška

Rázová zkouška byla provedena dle ČSN EN ISO 179-1.

Zkoušení probíhalo na rázovém kladivu CEAST Resil 5.5 určeném pro měření vrubové a rázové houževnatosti metodou CHARPY a metodou IZOD.

Pro jednotlivá měření bylo vždy od každého materiálu použito 5 vzorků a jednotlivé hodnoty následně zprůměrovány a zpracovány do přiloženého grafu. Do jednotlivých vzorků byl vrubovačkou CEAST s mikrometrem vytvořen normalizovaný V-vrub o velikosti 2 mm a do zkušebního přístroje byly vždy kvůli směrodatnosti výsledků vkládány stejným směrem (reliéfem nahoru, vtokem od obsluhy).



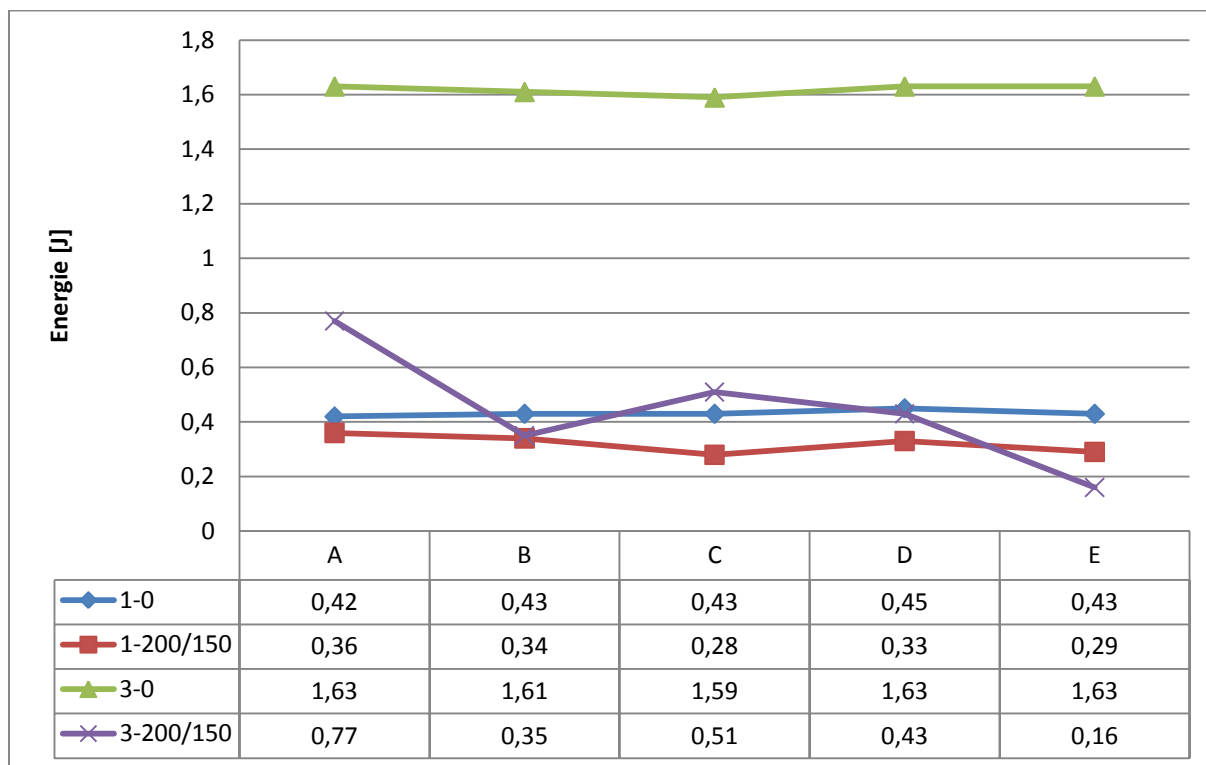
Obr. 3.27: Vrubovačka



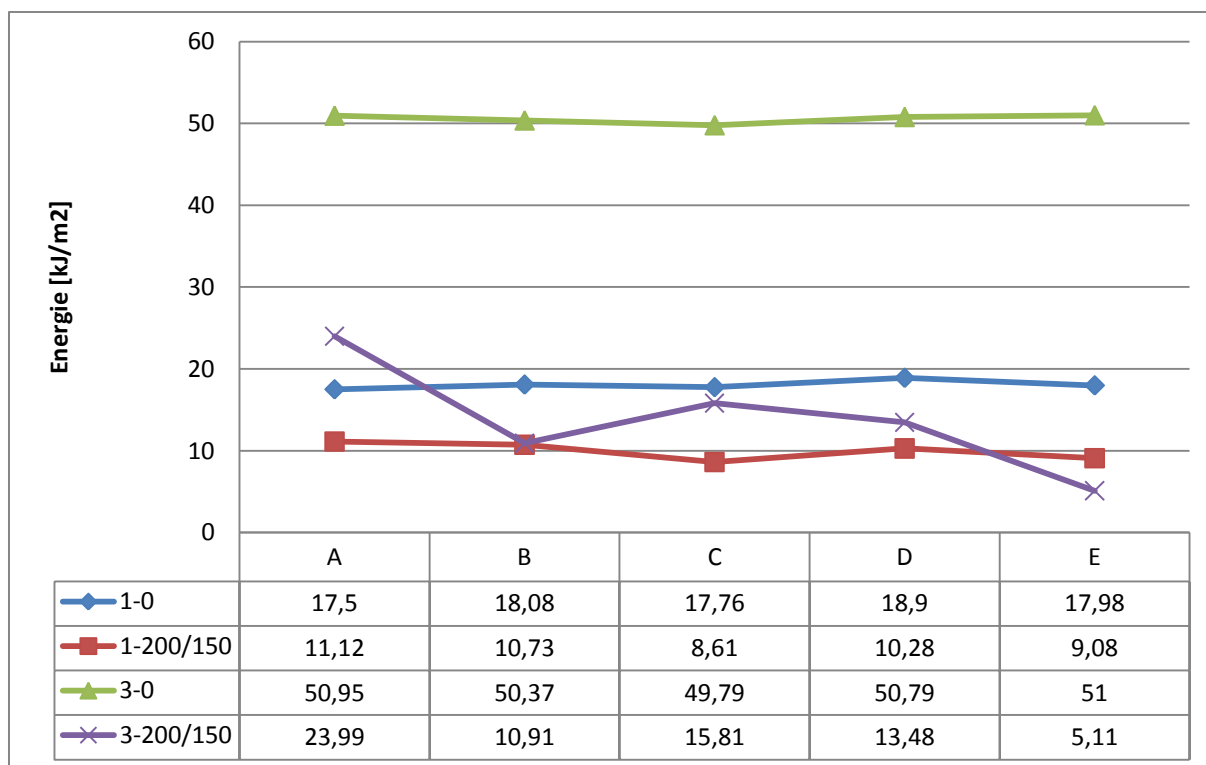
Obr. 3.28: Rázové kladivo

Výsledky zkoušky

Průběh naměřené energie potřebné k přeražení všech zkušebních těles jsou zpracovány do následujícího grafu (viz. obr. 3.29, 3.30).



Obr. 3.29: Průběh hodnot energie nutné k přeražení vzorků



Obr. 3.30: Průběh hodnot energie nutné k přeražení vzorků

Průběh hodnot polštáře a tlaku při přepnutí na dotlak

Hodnoty tělesa pro rázovou zkoušku zde nejsou zaznamenány z důvodu použití dvounásobné formy, kde probíhalo najednou vstřikování vzorků pro ohybovou a rázovou zkoušku, grafy jsou již obsaženy v kapitole 3.7.1.

3.7.4 Zkouška tvrdosti

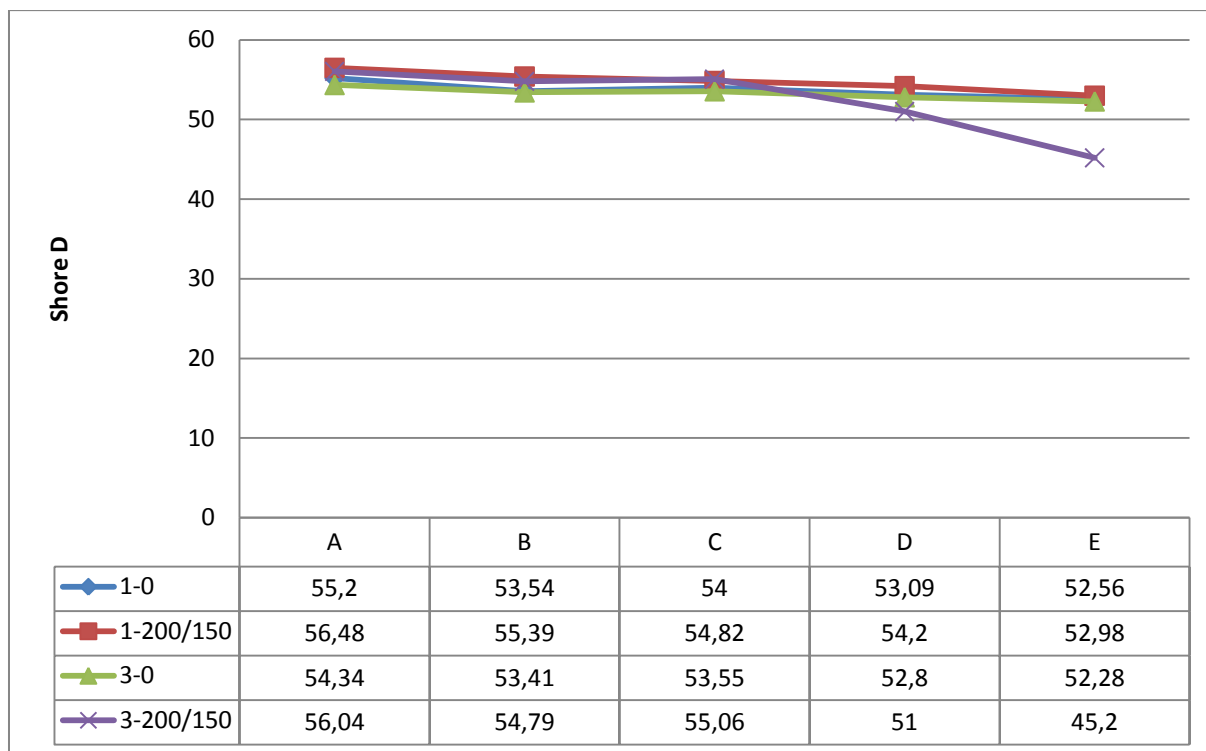
Zkouška tvrdosti byla prováděna na vzorcích pro zkoušku smrštění, tedy na destičkách 50x50x3 mm. Zkoušena byla okamžitá tvrdost dle ČSN EN ISO 868. Zkouška byla prováděna na tvrdoměru Shore A, D. Od každého materiálu bylo vzato 5 vzorků a do každého z nich bylo následně vytvořeno 5 zkušebních vpichů. Pro větší objektivnost byly vpichy vždy tvořeny v různých částech zkoušeného vzorku. Odečtené hodnoty byly zprůměrovány a zaznamenány do grafu (viz obr. 3.32).



Obr. 3.31: Tvrdoměr SHORE

Výsledky zkoušky

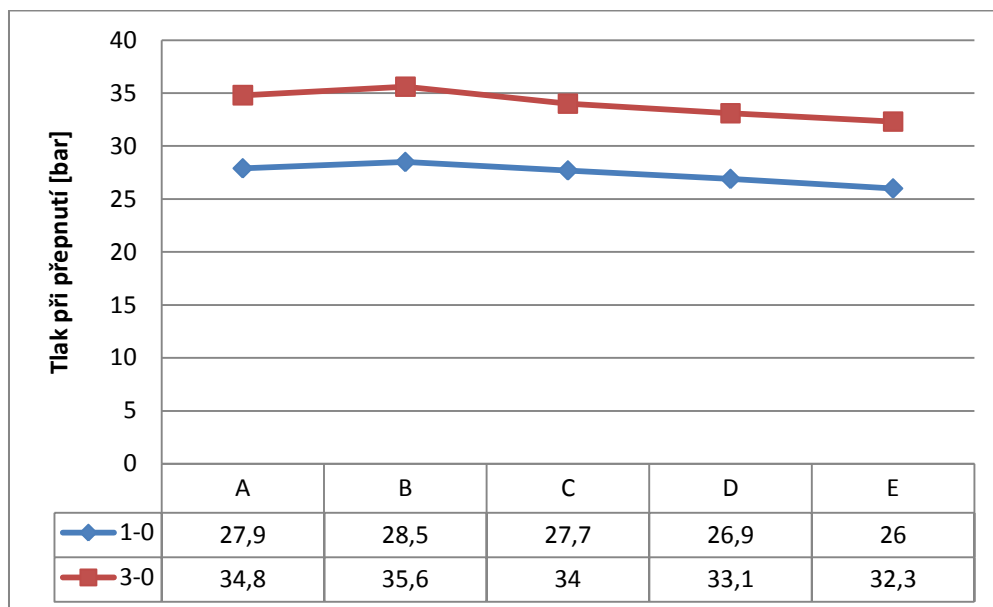
Průběh naměřené tvrdosti jednotlivých vzorků jsou zpracovány do následujícího grafu.



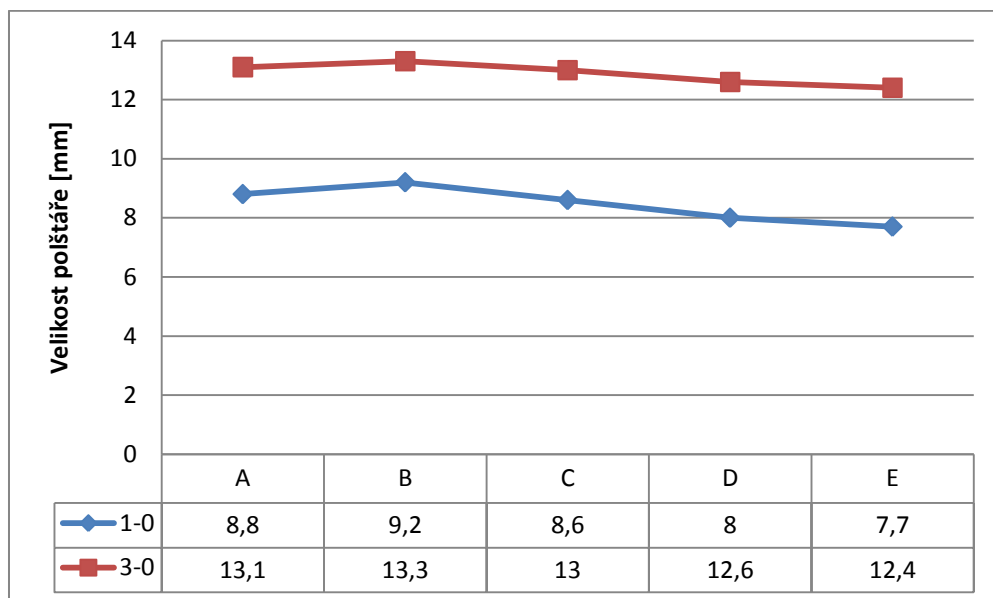
Obr. 3.32: Průběh hodnot naměřené tvrdosti materiálu

Průběh hodnot polštáře a tlaku při přepnutí na dotlak

Hodnoty tělesa pro zkoušku tvrdosti.



Obr. 3.33: Průběh tlaku při přepnutí na dotlak



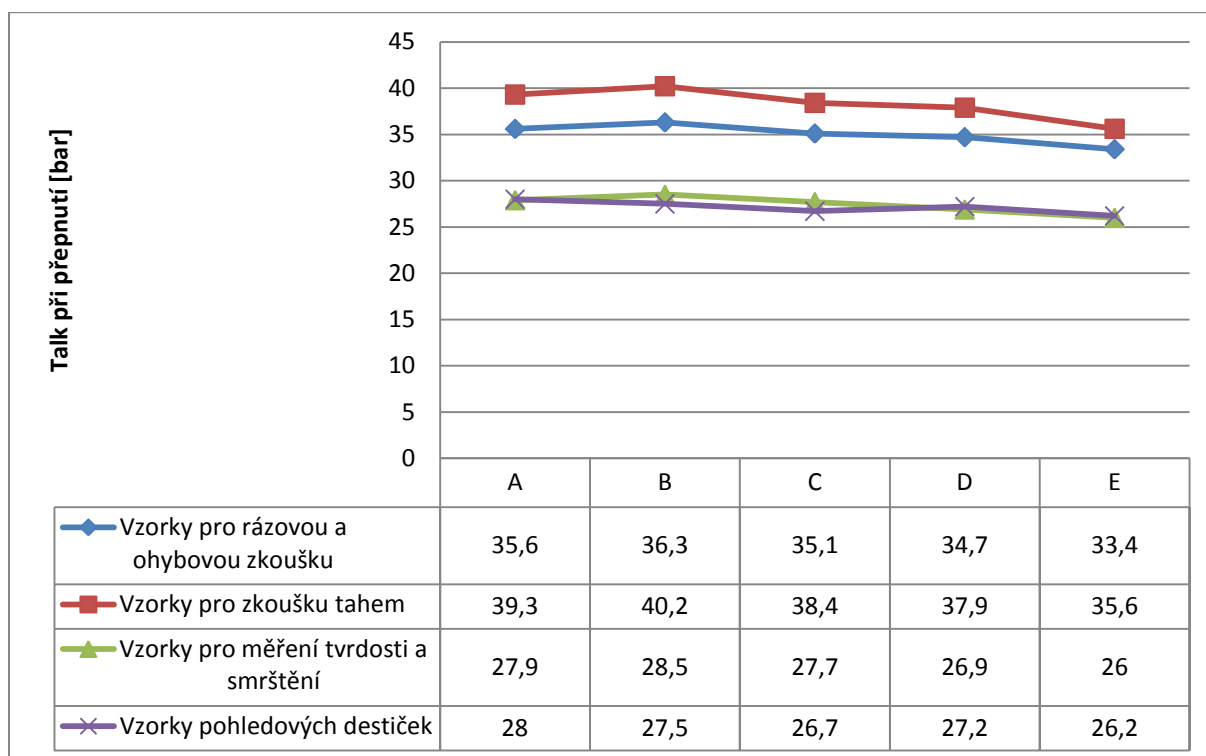
Obr. 3.34: Průběh hodnot velikosti polštáře

3.8 VÝSLEDKY SLEDOVÁNÍ PROCESNÍCH VELIČIN

Při procesu vstřikování byly u jednotlivých vzorků těles sledovány 2 technologické parametry, které jsou pro výrobu důležité a během vstřikování jednotlivých vzorků těles se měnily. Jednalo se o tlak při přepnutí na dotlak a velikost polštáře. Jediná výjimka byla při vstřikování těles pro zkoušku zabíhavosti, kde se tlak při přepnutí na dotlak nezaznamenával, jelikož se jednalo o pouhé vstřikování materiálu, u výroby těchto těles byla sledována pouze hodnota polštáře.

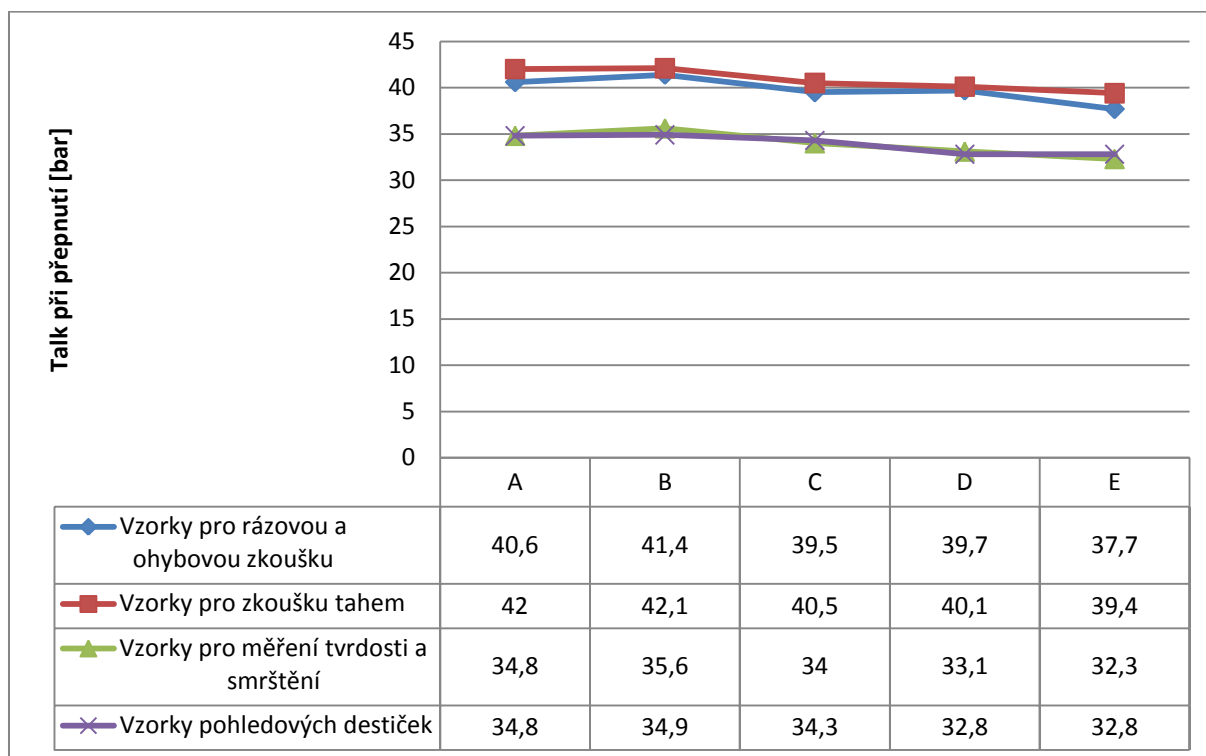
Veškeré hodnoty byly zaznamenávány při vstřikování každého jednotlivého kusu vzorku a následně vždy zprůměrovány (viz grafy na obr. 3.35 – 3.38). Hodnoty byly sledovány pouze u prvního a třetího zpracování materiálu.

Hodnoty tlaku při přepnutí na dotlak při prvním zpracování materiálu.



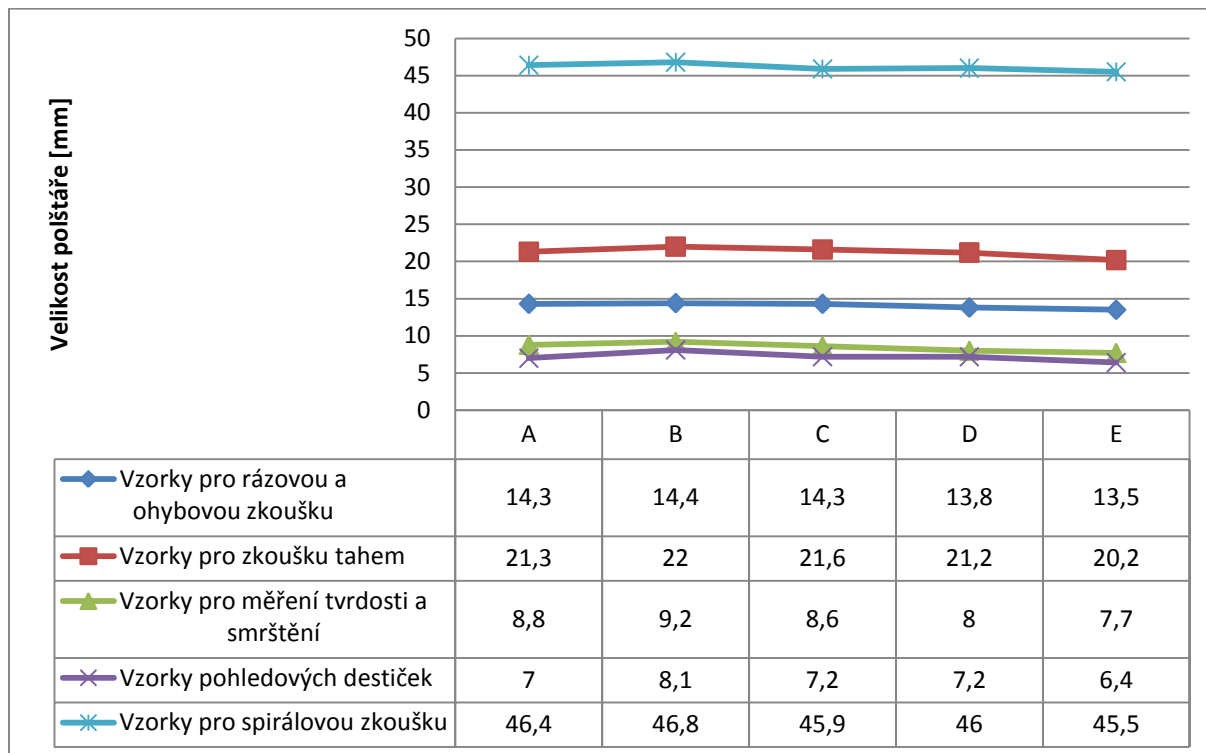
Obr. 3.35: Průběh naměřených hodnot tlaku při přepnutí na dotlak

Hodnoty tlaku při přepnutí na dotlak při třetím zpracování materiálu.



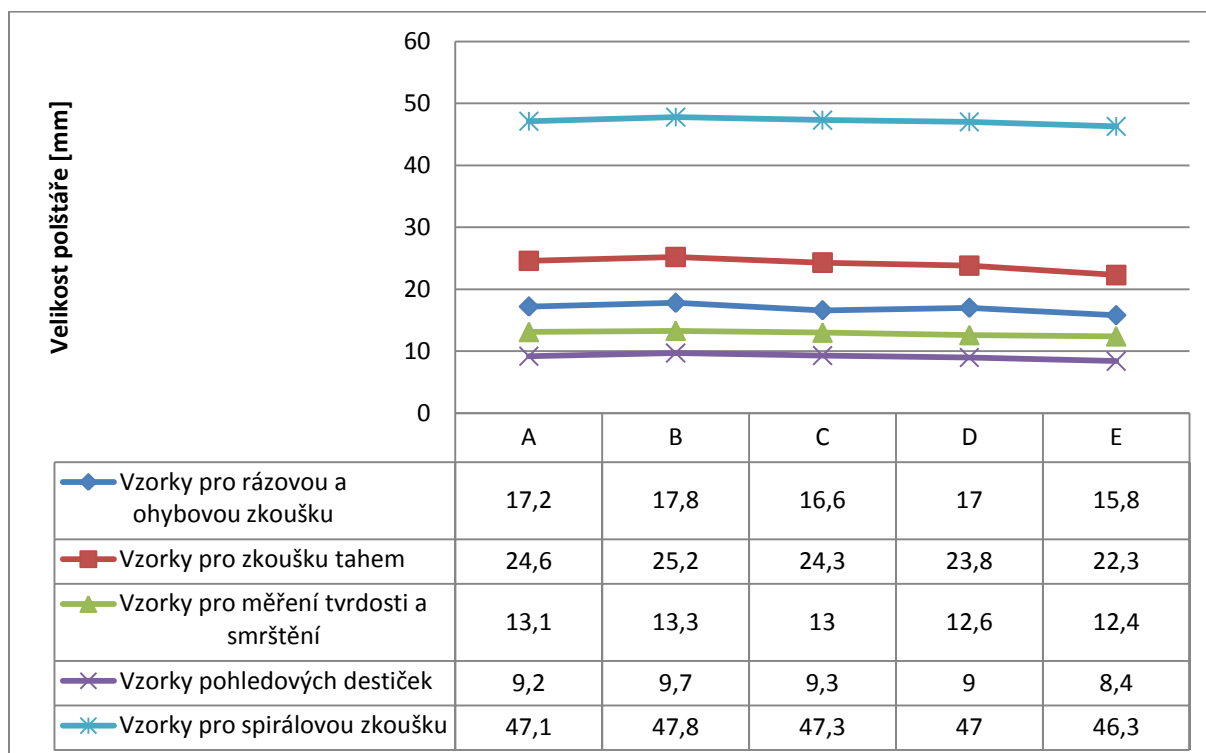
Obr. 3.36: Průběh naměřených hodnot tlaku při přepnutí na dotlak

Hodnoty polštáře při prvním zpracování materiálu.



Obr. 3.37: Průběh naměřených hodnot polštáře

Hodnoty polštáře při třetím zpracování materiálu.



Obr. 3.38: Průběh naměřených hodnot polštáře

Jak lze vyčíst z příložených grafů na obrázcích 3.35 - 3.38, hodnoty tlaku při přepnutí na dotlak a polštáře se zvýšily cca o 10 – 40% v závislosti na vstřikovaných vzorcích.

3.9 VÝSLEDKY ZKOUŠEK FUNKČNÍCH VLASTNOSTÍ

3.9.1 Zkouška lakovatelnosti

Pro vyzkoušení přilnavosti laku byly vzaty vyrobené pohledové destičky od všech šarží materiálů s výjimkou vzorků vyrobených z 3x zpracovaného materiálu podrobeného teplotnímu zatížení, ty byly kvůli absolutní degradaci povrchu vzorků s vyšším podílem Si aditiva z této zkoušky vyřazeny, protože povrch vykazoval známky spečení a bylo předem zřejmé, že tyto vzorky budou jen obtížně lakovatelné.

Lakovací postup

Lakování probíhalo na lakovací lince Eisenmann ve firmě Magna Exteriors&Interiors (Bohemia) s.r.o. roboty ABB lakovací linkou Eisenmann. Destičky byly přišroubovány na nárazník, následně byl jejich povrch ožehnut, nalakován základním lakem a poté krycím bezbarvým lakem. Jako základní lak byl použit vodou ředitelný Brilliant silber A7W a jako krycí lak byl použit 2K klarlak hochglanzed 111245 R3203H.



Obr. 3.39: Nárazník s přišroubovanými destičkami po nalakování.

Vybrané vzorky byly následně podrobeny 2 typům zkoušek ověřujících přilnavost laku k vzorkům:

1. Zkouška varem dle předpisu laboratoře lakovny

Při této zkoušce byly nalakované vzorky ponořeny na 4 hodiny do nádoby s demineralizovanou vodou o teplotě 100°C. Následně se vzorky nechaly 30 minut vychladnout a poté se hodnotil vzhled a množství případně vzniklých puchýřů dle definovaných standardů. Z tohoto vyplývala hustota a velikost puchýřů značená v tabulce hodnotou S. Po 60 minutách od vyjmutí z nádoby bylo pokračováno studováním přilnavosti laku mřížkovým testem. Díky varu materiálu se mohly uvolnit z materiálu plyny jednotlivých složek, které mohly ovlivnit přilnavost laku k povrchu výrobku, což se projevilo menší či větší bublinatostí lakovaného povrchu a následně odlupováním laku při mřížkovém testu.

2. Mřížkový řez dle ČSN EN ISO 2409

Při tomto testu byly na nalakovaných destičkách provedeny souvislé řezy ostrým nástrojem skrz lak, následně byl proveden další soubor paralelních řezů, které svíraly úhel s původními řezy 90°. Na testovaných vzorcích tak vznikla mřížka z řezů. Samotný test přilnavosti laku byl poté zkoušen lepicí páskou, která se nalepila na mřížku z řezů a následně byla prudce stržena. Dle ulpělého laku na pásce a dle specifických norem byla vyhodnocována přilnavost laku.

Výsledky zkoušky

Tab. 3.9: Tabulka výsledků zkoušky

OZNAČENÍ SKUPINY VZORKŮ	PUCHÝŘE	MŘÍŽKOVÝ ŘEZ	CELKOVÉ HODNOCENÍ
A-1-0	0(S0)	0	Vyhovující
A-3-0	2(S2)	0	Nevyhovující
A-1-200/150	0(S0)	0	Vyhovující
B-1-0	3(S2)	4	Nevyhovující
B-3-0	2(S2)	0	Nevyhovující
B-1-200/150	0(S0)	0	Vyhovující
C-1-0	2(S2)	2	Nevyhovující
C-3-0	0(S0)	0	Vyhovující
C-1-200/150	2(S2)	3	Nevyhovující
D-1-0	2(S2)	0	Nevyhovující
D-3-0	2(S2)	0	Nevyhovující
D-1-200/150	2(S2)	5	Nevyhovující
E-1-0	2(S2)	4	Nevyhovující
E-3-0	2(S2)	2	Nevyhovující
E-1-200/150	2(S2)	4	Nevyhovující

3.9.2 Zkouška odolnosti proti poškrábání

Na testování odolnosti materiálu proti poškrábání byly opět použity pohledové destičky. Pro tuto zkoušku byly opět vzaty všechny šarže materiálů s výjimkou vzorků vyrobených z 3x zpracovaného materiálu podrobeného teplotnímu zatížení, ty byly kvůli absolutní degradaci povrchu vzorků s vyšším podílem Si aditiva z této zkoušky vyřazeny, protože povrch vykazoval známky spečení.

Vzhledem k nedostupnosti zařízení na zkoušku poškrábatelnosti a finanční náročnosti provádění této zkoušky v externích firmách bylo od této zkoušky upuštěno a byla nahrazena zkouškou, při níž se na zkušebních tělesech vytvořily vrypy speciální tužkou s nastavitelným přitlakem jejího hrotu. Takto provedená zkouška sice neodpovídala žádným standardům, nicméně byla naprosto dostačující pro porovnání škrábanců na vzorcích při působení stejnou silou. Varianty zatížení hrotu tužky byly 2, 3, 5, 5 a 10 N. Na jednotlivých vzorcích byl při každém zatížení vytvořen jeden vryp a vrypy od jednotlivých zatížení byly následně navzájem porovnávány.

3.9.3 Zkouška odolnosti proti otěru

Tato zkouška byla opět prováděna na jednotlivých vzorcích pohledových destiček. Pro tuto zkoušku byly opět vzaty všechny šarže materiálů s výjimkou vzorků vyrobených z 3x zpracovaného materiálu podrobeného teplotnímu zatížení, ty byly kvůli absolutní degradaci povrchu vzorků s vyšším podílem Si aditiva z této zkoušky vyřazeny, protože povrch vykazoval známky spečení.

Zkouška probíhala na crockmetru, kde byly jednotlivé vzorky umístěny a podrobeny nejdříve 10 násobnému zdvihu (otěru) měřícího palce a další várka vzorků byla podrobena 50-ti násobnému zdvihu. Pod palec, který se pohyboval po zkoušených vzorcích, byl vždy umístěn nový kus tkaniny 50x50 mm, který se následně třel po povrchu. Vyhodnocována byla viditelnost škrábanců, jejich velikost, zabarvení a také ulpělé množství plastu na tkanině.

Výsledky zkoušky

Tab. 3.10: Hodnoty výsledku zkoušky po 10 cyklech

OZNAČENÍ SKUPINY VZORKŮ	VIDITELNOST POUHÝM OKEM	BĚLAVÁ STRUKTURA	ŠKRÁBANCE V CELÉM ROZSAHU PLOCHY VZORKU	ULPĚLÝ PLAST NA TKANINĚ
A-1-0	Ano	Ne	1/2	Ne
A-3-0	Ano	Ne	4/5	Ano
A-1-200/150	Ano	Ne	1/3	Ne
B-1-0	Ano	Ne	1/2	Ne
B-3-0	Ano	Ne	2/3	Ano
B-1-200/150	Ano	Ne	1/3	Ne
C-1-0	Ano	Ne	1/3	Ano
C-3-0	Ano	Ne	1/2	Ano
C-1-200/150	Ano	Ne	1/10	Ano
D-1-0	Ano	Ne	1/10	Ne
D-3-0	Ano	Ne	1/4	Ano
D-1-200/150	Ano	Ne	1/20	Ano
E-1-0	Ano	Ne	1/10	Ano
E-3-0	Ano	Ne	1/10	Ne
E-1-200/150	Ano	Ne	1/50	Ne

Tab. 3.11: Hodnoty výsledku zkoušky po 50 cyklech

OZNAČENÍ SKUPINY VZORKŮ	VIDITELNOST POUHÝM OKEM	BĚLAVÁ STRUKTURA	ŠKRÁBANCE V CELÉM ROZSAHU PLOCHY VZORKU	ULPĚLÝ PLAST NA TKANINĚ
A-1-0	Ano	Ne	2/3	Ne
A-3-0	Ano	Ne	1/2	Ne
A-1-200/150	Ano	Ne	1/2	Ne
B-1-0	Ano	Ne	1/2	Ne
B-3-0	Ano	Ne	2/3	Ano
B-1-200/150	Ano	Ne	1/3	Ne
C-1-0	Ano	Ne	1/3	Ano
C-3-0	Ano	Ne	1/2	Ano
C-1-200/150	Ano	Ne	1/2	Ne
D-1-0	Ano	Ne	1/2	Ne
D-3-0	Ano	Ne	1/2	Ne
D-1-200/150	Ano	Ne	1/4	Ne
E-1-0	Ano	Ne	1/4	Ne
E-3-0	Ano	Ne	1/10	Ne
E-1-200/150	Ano	Ne	1/30	Ne

3.9.4 Zkouška svařitelnosti

Pro ověření svařitelnosti byly použity opět pohledové destičky 120x120 mm od všech šarží materiálů s výjimkou výrobků z 3x zpracovaného materiálu vystavenému teplotnímu zatížení, ty byly kvůli absolutní degradaci povrchu vzorků s vyšším podílem Si aditiva z této zkoušky vyřazeny, protože povrch vykazoval známky spečení a bylo předem jasné, že tyto vzorky by byly obtížně svařitelné a pevnost svaru by byla téměř nulová.

Vybrané destičky byly nařezány na 4 díly a vždy po 2 dílech svařeny, tudíž vznikly 2 svařené vzorky od každého materiálu.

3.10 VÝSLEDKY MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ

3.10.1 Měření objemového indexu toku taveniny (MVR)

Měření objemového indexu toku taveniny (MVR) probíhalo dle ČSN EN ISO 1133 na plastometru CEAST, který slouží k hodnocení jak objemového, tak hmotnostního indexu toku taveniny.

Tab. 3.12: Parametry přístroje při provádění zkoušky

Teplota	230	°C
Zatížení	2,160	kg
Průměr trysky	2,095	mm
Délka trysky	8	mm
Měřená délka	25	mm

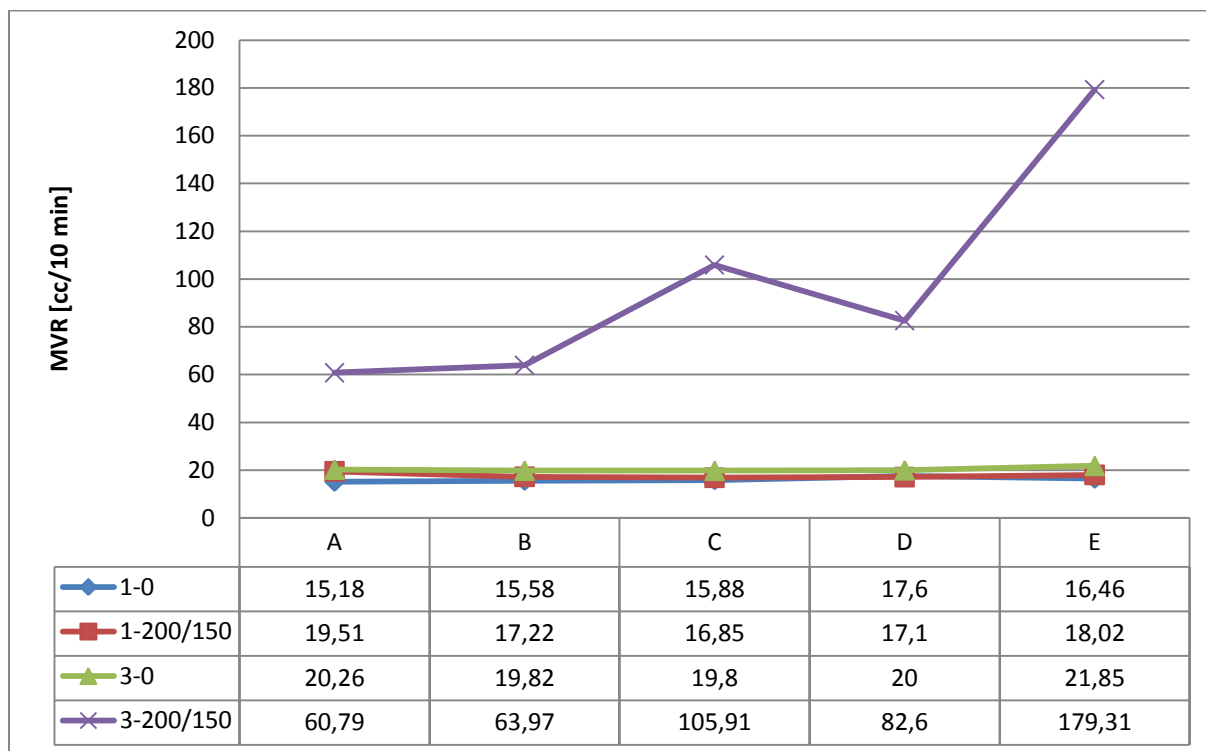


Obr. 3.40: Plastometr CEAST

Z důvodu nehomogenity namíchaných směsí materiálu připravených pro první vstřikování bylo kvůli objektivnosti naměřených výsledků přistoupeno k měření indexu toku taveniny z již jedenkrát vstřikovaného materiálu a následně pak z třikrát vstřikovaného materiálu. To samé také proběhlo u teplotně zatížených vzorků. Namleté vzorky z jednotlivých materiálů byly postupně ve formě drtě přechovány do topného válce měřicího přístroje a po prohřátí materiálu ve válci byl měřen index toku materiálu při definovaném zatížení. Po každém měření byly topná komora i tryska měřicího přístroje řádně vyčištěny, aby byly výsledky měření co nejpřesnější.

Výsledky zkoušky

Výsledné hodnoty indexu toku taveniny byly zprůměrovány a zaneseny do grafu na obr. 3.41.



Obr. 3.41: Průběh výsledků hodnot indexu toku taveniny

3.10.2 Zkouška zabíhavosti

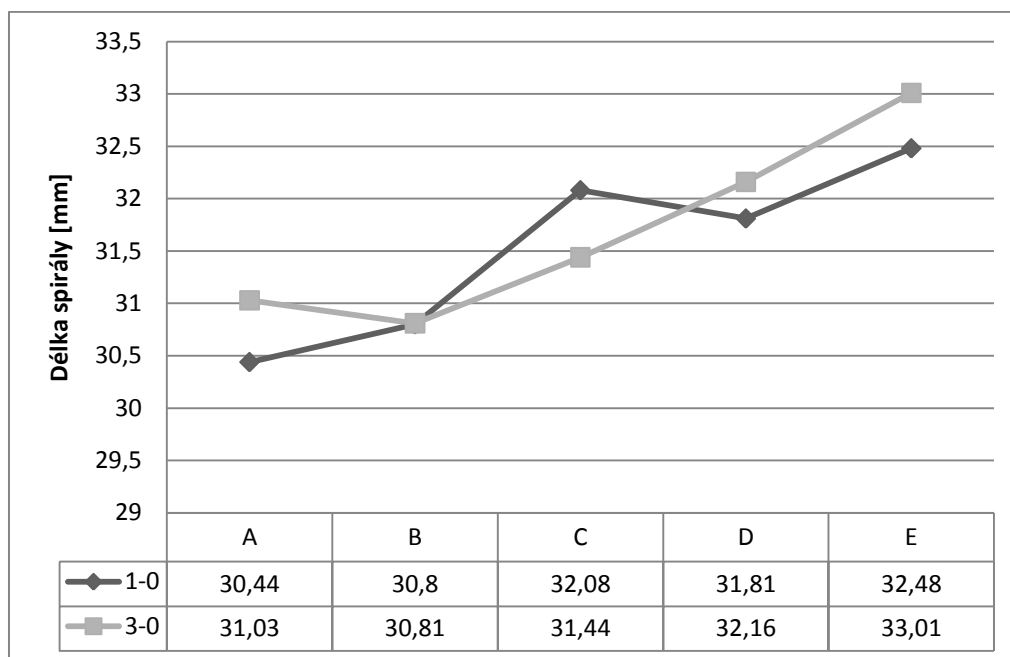
Zkouška zabíhavosti byla provedena spirálovou zkouškou zabíhavosti, kde se materiál za daných podmínek vstřikuje na vstřikovací stroji do formy spirálového tvaru a sleduje se hodnota délky dosažené spirály. Spirála byla kosodélníkového profilu 8x6x2 mm.

Pro zkoušku zabíhavosti bylo vždy vyrobeno 5 zkušebních těles, ty pak následně oměřeny a průměrované hodnoty zpracovány do grafu (viz. Obr. 3.42).

Veškeré technologické parametry vstřikovacího procesu zkoušky zabíhavosti byly nastaveny stejně, jak tomu bylo u vstřikování vzorků zkušebních těles (viz. Tab. 3.6).

Výsledky zkoušky

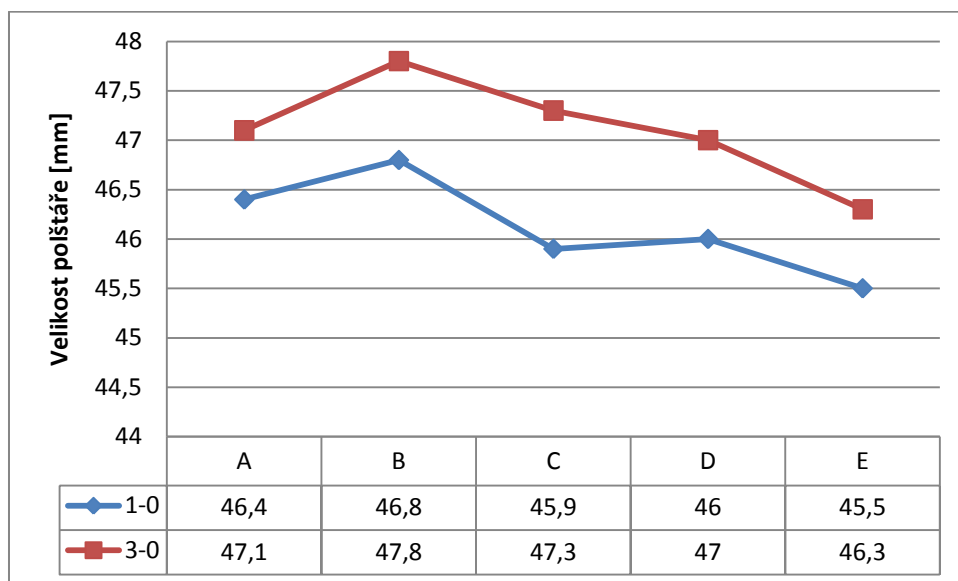
Průběh naměřené zabíhavosti všech zkoušených materiálů jsou zpracovány do následujícího grafu.



Obr. 3.42: Průběh hodnot naměřené délky spirály

Průběh hodnot polštáře a tlaku při přepnutí na dotlak

Jelikož se při provádění této zkoušky jedná jen o samotné vstřikování bez dotlaku, byla sledována pouze hodnota polštáře.



Obr. 3.43: Průběh hodnot velikosti polštáře

3.10.3 Měření smrštění

Stanovení výrobního smrštění probíhalo dle normy ČSN EN ISO 294-4 na destičkách 50x50x3 mm.

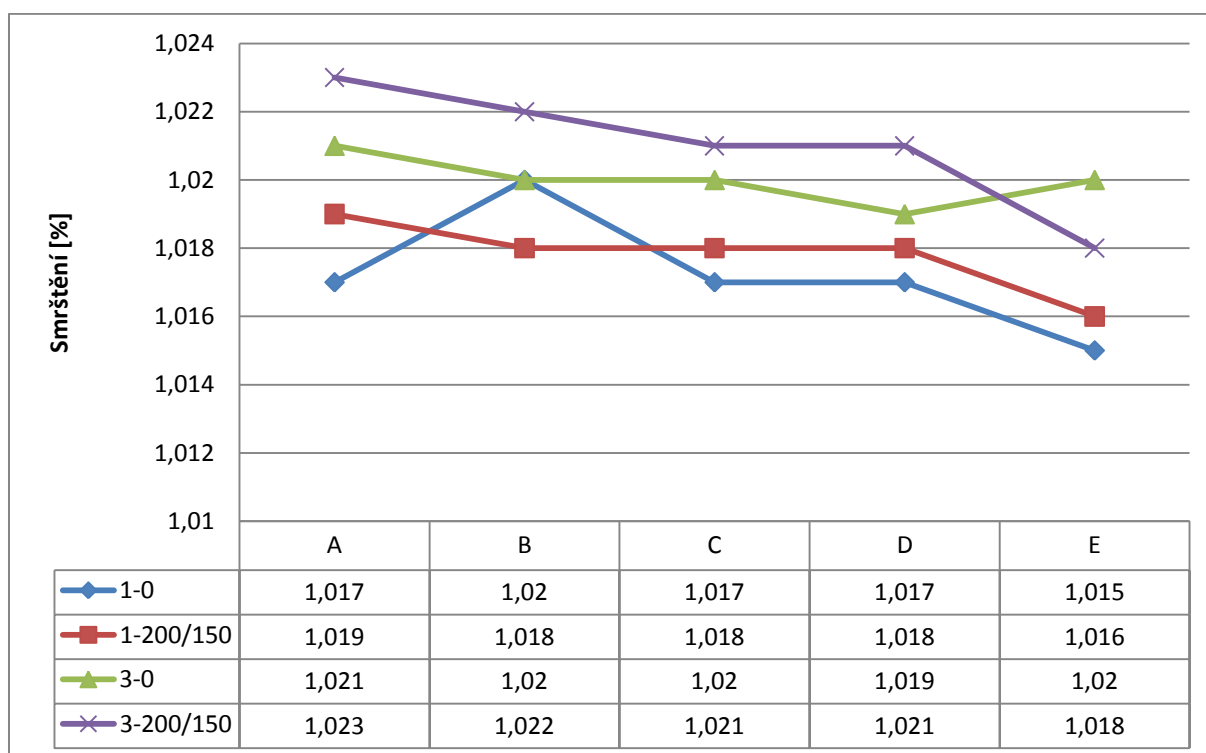
Vzhledem k faktu, že forma na vstřikování destiček byla dvounásobná, byla vždy jedna řada destiček vzata na změření ihned a druhá řada byla měřena až po teplotním zatížení. Pro rozeznání destiček z jedné a druhé dutiny formy posloužily drobné vady reliéfu povrchu, které zanechala na výrobcích forma. Forma jako taková byla ve své vrchní části označena fixem, aby se zajistilo její stejné umístění při prvním i třetím vstřikování vzorků.

Forma byla po svém řádném vychladnutí změřena v horních a dolních částech dutin mikrometrem, aby byly zjištěny její přesné rozměry, které byly poté porovnávány s rozměry vyrobených destiček.

Měření rozměru destiček probíhalo opět mikrometrem a to ve vrchní a spodní části kolmo na směr toku taveniny. Naměřené hodnoty smrštění ve vrchní a spodní části byly následně zprůměrovány a zapracovány do přiloženého grafu (viz. obr. 3.44). Z důvodu eliminace vlivu povýrobního smrštění byly veškeré vzorky měřeny až 48 hodin po vyrobení/teplotním zatížení.

Výsledky zkoušky

Průběh naměřeného smrštění všech zkoušených materiálů jsou zpracovány do následujícího grafu.



Obr. 3.44: Průběh hodnot naměřené velikosti smrštění

Průběh hodnot polštáře a tlaku při přepnutí na dotlak

Tyto hodnoty zde nejsou zaznamenány z důvodu použití stejných vzorků pro měření tvrdosti a smrštění, grafy jsou již obsaženy v kapitole 3.7.4.

4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUZE

4.1 ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

4.1.1 Vyhodnocení zkoušky ohybem

Hodnoty pevnosti v ohybu se u 1x zpracovaného materiálu ani vlivem teplotního zatížení nikterak výrazně nezměnily, dokonce u materiálu A a B zůstaly téměř stejné, křivky grafu se téměř překrývají. S rostoucím přídatkem Si aditiva se hodnoty pevnosti v ohybu nijak zásadně neměnily, vyjma materiálu C byla hodnoty pevnosti spíše mírně klesající.

V případě 3x zpracovaného materiálu byly rozdíly hodnot mezi vstřikovaným materiálem a vstřikovaným materiálem s teplotním zatížením velice markantní.

U 3x zpracovaného materiálu (dvojitá recyklace) poklesly hodnoty pevnosti v celém spektru vzorků o cca 4 MPa oproti 1x zpracovanému materiálu, rozdíly jednotlivých naměřených hodnot pevnosti po 3. zpracování byly mezi jednotlivými materiály v řádech desetin MPa. Největší pevnost v ohybu vykázal pak materiál E, což už zdaleka neplatilo u zkoušek po teplotním zatížení.

Po teplotním zatížení 3x zpracovaného materiálu pevnost veškerých vzorků klesla, nejlepší ohybové vlastnosti však vykázal materiál C, kde pevnost na rozdíl od ostatních vzorků klesla jen o necelých 5 MPa. U materiálu D a E byla pevnost téměř poloviční, až třetinová. Průběh pevnosti byl až na uvedený materiál C s rostoucím podílem Si aditiva klesající, v případě materiálu E a D prudce klesající.

Měření veškerých vzorků 3x zpracovaného materiálu s teplotním zatížením bylo doprovázeno ve většině případů nalomením, případně rozlomením zkušebních těles, u materiálů D a E se již rozlamovaly veškeré vzorky, což ukazovalo na teplotní degradaci použitého aditiva a s tím spojené zhoršení materiálových vlastností. S ohledem na poškození zkušebních těles vyšel opět nejlépe materiál C, kde byla rozlomena pouze 2 zkušební tělesa, 1 bylo lehce nalomeno a 2 zůstala bez poškození, díky tomuto faktu byla i ohybová pevnost tohoto materiálu z dané řady zpracování nejvyšší.

Pro lepší přiblížení výsledků zkoušky jsou níže porovnány fotografie zatížených vzorků z materiálů A – E po prvním zpracování a po třetím zpracování s teplotním zatížením.



Obr. 4.1: Souhrnné foto vzorků A – E-1-0



Obr. 4.2: Souhrnné foto vzorků A – E-3-200/150

4.1.2 Vyhodnocení zkoušky tahem

Na pevnost materiálu v tahu měl přídavek Si aditiva negativní vliv a způsoboval ve všech případech její pokles.

V případě měření 1x zpracovaného materiálu pevnost s rostoucím podílem Si aditiva pozvolna klesala.

Po teplotním zatížení 1x zpracovaného materiálu následoval další pokles hodnot pevnosti napříč celým spektrem materiálů.

U 3x zpracovaného materiálu se pevnost jednotlivých materiálů téměř neměnila (pouze v rámci desetin MPa), zde se tedy vliv Si aditiva již nijak výrazně neprojevoval.

Po teplotním zatížení 3x Zpracovaných vzorků již pevnost klesala vždy nejméně na polovinu původní hodnoty u vzorků z 1x zpracovaného materiálu bez teplotního zatížení. Tento fakt byl důsledkem velkého zkřehnutí materiálu, které je možno vyčíst i z grafu prodloužení v mezi kluzu. V této várce vzorků (podle předpokladů s ohledem na veškerá předchozí měření) dosahoval nejmenších hodnot materiál E, kde se vzorky trhaly téměř okamžitě za použití malé síly a bez jakéhokoli patrného prodloužení.

4.1.3 Vyhodnocení rázové zkoušky

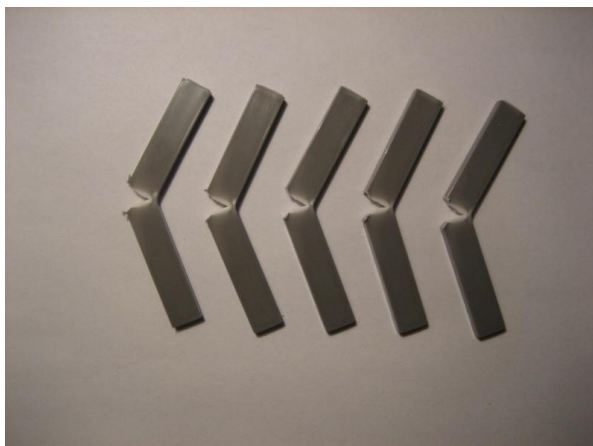
U vzorků z 1x zpracovaného materiálu byl průběh houževnatosti s lehkými výkyvy téměř lineární, nejhouževnatější byl materiál D. U všech vzorků došlo k částečnému přeražení materiálu.

Po teplotním zatížení vzorků z 1x zpracovaného materiálu houževnatost veškerých vzorků klesla a největší houževnatost vykázal materiál A. U všech vzorků došlo k částečnému přeražení materiálu.

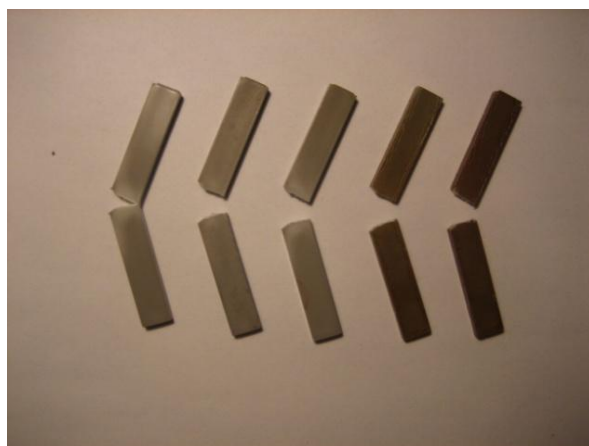
U vzorků z 3x zpracovaného materiálu houževnatost rapidně vzrostla, největší a skoro shodná byla u základního materiálu A a D. U všech těchto vzorků opět vždy došlo k částečnému přeražení materiálu.

Po teplotním zatížení vzorků z 3x zpracovaného materiálu byly hodnoty naměřené houževnatosti velice kolísavé. Díky degradaci silikonu v materiálu již vzorky s Si aditivem vykazovaly v případě materiálu D pouze desetinou hodnotu houževnatosti oproti měření vzorků z 1x zpracovaného materiálu, zatímco materiál A měl po teplotním zatížení houževnatost poloviční. U těchto zkoušených vzorků začalo již docházet k úplnému přeražení. U materiálu A došlo k částečnému přeražení pouze 3 vzorků z 5, dále pak došlo ještě k částečnému přeražení 1 vzorku z materiálu C a 3 vzorků z materiálu D.

Pro lepší přiblížení výsledků zkoušky jsou níže porovnány fotografie zatížených vzorků z materiálů A – E po prvním zpracování a po třetím zpracování s teplotním zatížením.



Obr. 4.3: Souhrnné foto vzorků A – E-1-0



Obr. 4.4: Souhrnné foto vzorků A – E-3-200/150

4.1.4 Vyhodnocení zkoušky tvrdosti

Nejstabilnější, a to i po teplotním zatížení vzorků z 1x zpracovaného materiálu, byl materiál A a materiály B, C, D. Materiál E vykazoval stabilní hodnoty až do měření vzorků z 3x zpracovaného materiálu s teplotním zatížením, poté tvrdost kvůli degradaci materiálu poklesla.

Nejtvrdším materiálem ze všech se podle předpokladů ukázal materiál A, druhým nejtvrdším byl materiál C.

4.2 ZKOUŠKY FUNKČNÍCH VLASTNOSTÍ

4.2.1 Vyhodnocení zkoušky lakovatelnosti

1. Zkouška varem dle předpisu laboratoře lakovny

Vzhledem k velké náročnosti tohoto testu na vlastnosti materiálu byly absolutně vyhovující (vyhovující v obou testech) pouze 4 vzorky z celkových 15 zkoušených. Absolutně nejlepší hodnoty přilnavosti byly zjištěny podle všech původních předpokladů u materiálu A, kde celým testem neprošly pouze vzorky z 3x zpracovaného materiálu zkoušku puchýřovitosti, kterou ostatně prošla necelá jedna třetina všech zkoušených vzorků. Trochu zarážejícím výsledkem byl pokles bublinatosti vzorku materiálu B-1-200/150, stejný pokles bublinatosti byl zaznamenán u materiálu C-3-0. Jako absolutně nevyhovující byly vyhodnoceny materiály D a E, kde u materiálu E neprošel v žádný ze zkoušených vzorků žádnou zkouškou. Na tomto faktu byl jasně demonstrován špatný vliv Si aditiva na přilnavost laku k povrchu výrobků po jejich tepelném namáhání.

2. Mřížkový řez dle ČSN EN ISO 2409

Maximální přípustná hodnota přilnavosti je Gt 1. Tento test materiálu byl s ohledem na dosažené výsledky diametrálně odlišný od předchozího testu varem. Celým testem neprošly pouze vzorky z materiálu C-1-0 a E-1-200/150, kde tyto dosáhly hodnoty Gt 2. Veškeré ostatní vzorky byly vyhodnoceny jako naprosto vyhovující s hodnotou Gt 0.

4.2.2 Vyhodnocení odolnosti proti poškrábání

1x zpracovaný materiál

Při zatížení hrotu tužky silou 2 N byl u materiálu A jasně viditelný vryp s bělavou strukturou, s přibývajícím přídavkem Si aditiva se tato struktura postupně vytrácela a u vzorku z materiálu E již nebyl vryp téměř ani viditelný. U škrábanců provedených silou 3,5 N byl průběh obdobný, po vzorcích s vyšším obsahem Si aditiva opět tužka volně klouzala, vryp u vzorku z materiálu E byl opět nejmělkčí a byl bez bělavé struktury. U zatížení 5 a 10 N byla situace obdobná pouze s tím rozdílem, že při zatížení 10 N byla již vidět bělavá struktura i u vzorků s nejvyšším obsahem aditiva, nicméně u těchto vzorků byly vrypy s menším poškozením.

3x zpracovaný materiál (2x recyklovaný)

U tohoto materiálu se ukázalo, že dvounásobná recyklace měla na poškrábateľnost vzorků jednoznačně pozitivní vliv. Celý průběh výsledků zkoušky byl naprosto stejný se vzorky z 1x zpracovaného materiálu jen s tím rozdílem, že hloubka vrypů nebyla tak velká. Tento jev byl bez výjimky sledován v celém spektru vzorků.

1x zpracovaný materiál s teplotním zatížením

U takto zatíženého materiálu se odolnost proti poškrábání zvýšila a to u všech variant materiálů včetně materiálu A. Při zatížení hrotu silou 2 N byla lehce bělavá struktura vrypu pouze u vzorku z materiálu A a s přibývajícím obsahem aditiva byly škrábance mělké a obtížněji viditelné, až téměř zanikaly. V případě zatížení silou 3,5 N byly povrch a hloubka škrábanců na stejné úrovni, jako u vzorků z 1x zpracovaného materiálu bez teplotního zatížení při zatížení silou 2 N. Při zatížení 5 a 10 N byly již povrch i hloubka škrábanců také stejné.

4.2.3 Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti otěru

Vyhodnocení po 10 cyklech

Již při 10 cyklech byl jasně viditelný pozitivní vliv Si aditiva na velikost škrábanců, kde se velikost poškrábané plochy s rostoucím přídatkem aditiva exponenciálně snižovala.

Vzorky s nejvyšším podílem aditiva z 3x zpracovaného materiálu vykazovaly zvýšení oteruvzdornosti.

Vzorky všech materiálů z 1x zpracovaného materiálu po teplotním zatížení vykazovaly zvýšení oteruvzdornosti, kde byl ve všech případech povrch těchto vzorků absolutně nejlepší, což bylo zajímavým zjištěním s ohledem na skoro neměnnou se hodnotu tvrdosti vyplývající z provedených zkoušek. Z těchto vzorků vyšel absolutně nejlépe vzorek materiálu E, kde tento nevykazoval na svém povrchu téměř žádné rýhy, jeho povrch byl spíše jen lehce oleštěný.

Vyhodnocení po 50 cyklech

Po 50 provedených cyklech nastal více či méně u všech vzorků nárůst poškrábané plochy, velikost poškození nikterak výrazně odlišná nebyla. Průběh a výsledky byly obdobné se zatížením 10 cykly. Nejlepší vzhledové vlastnosti byly dosaženy u materiálu E-1-200/150, který opět nevykazoval na svém povrchu téměř žádné rýhy, jeho povrch byl spíše jen lehce oleštěný. Poškrábání celé plochy vzorku nenastalo prakticky u žádného ze zkoušených vzorků.

4.3 MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ

4.3.1 Vyhodnocení objemového indexu toku taveniny MVR

Z grafu naměřených veličin na obr. 3.41 je jasné patrné, že vzorky 3x zpracovaného materiálu podrobené teplotnímu zatížení svými hodnotami tečení několikrát převyšovaly hodnoty vzorků 1x vstřikovaného materiálu bez teplotního zatížení, v případě materiálu E-3-200/150 tato hodnota indexu toku taveniny stoupla dokonce více než jeden řád.

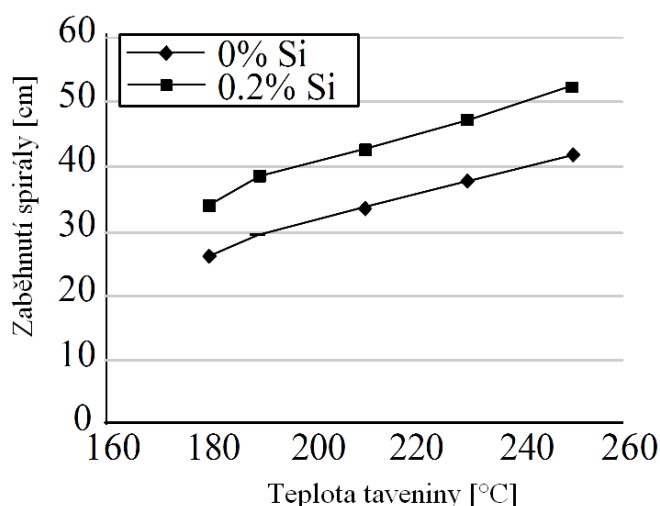
V případě vzorků z 1x zpracovaného materiálu se hodnota indexu toku taveniny téměř lineárně zvyšovala, u vzorků z 3x zpracovaného materiálu měla již tato hodnota klesající a následně rostoucí tendenci, stejně tak i u vzorků z 1x zpracovaného materiálu podrobeného teplotnímu zatížení.

Nejstabilnější hodnoty indexu toku taveniny až do měření vzorků z 3x zpracovaného materiálu podrobeného teplotnímu zatížení dosáhl materiál D. Nejmenší hodnotu indexu toku taveniny u vzorků z 3x zpracovaného materiálu podrobených teplotnímu zatížení vykazoval materiál A, v porovnání s ním materiál E tekl díky vysokému procentu silikonu téměř nekontrolovaně.

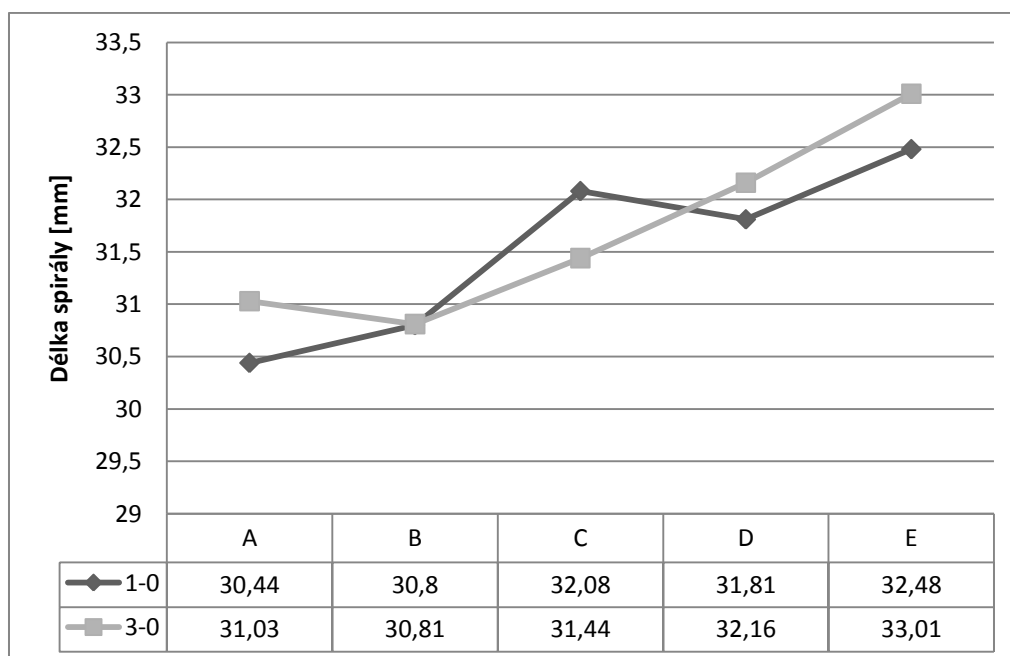
4.3.2 Vyhodnocení zkoušky zabíhavosti

Hodnota zabíhavosti materiálu neměla s rostoucím procentem Si aditiva lineární průběh, nýbrž u vzorků vyrobených při prvním zpracování materiálu byl výkyv hodnot u materiálu C a D, který ne až tak úplně korespondoval s hodnotami polštáře při procesu vstřikování. Při zobrazení výsledků zabíhavosti vzorků vyrobených při třetím zpracování materiálu již hodnoty odpovídaly hodnotám polštáře o něco více, výkyv hodnot byl tentokrát u materiálu B. Průběh hodnot zabíhavosti vyrobených při prvním a třetím zpracování byl odlišný, což mohlo být důsledkem různé degradace Si aditiva během zpracovatelského procesu.

Při porovnání hodnot spirálové zkoušky dosažených výrobcem a naměřených hodnot při experimentu je nutno podotknout, že tyto hodnoty jsou diametrálně odlišné (viz obr. 4.5 a 4.6). Výrobcem dosažené hodnoty spirálové zkoušky při obsahu aditiva 0,2% nebyly při experimentu ani zdaleka naměřeny i při obsahu aditiva 4%. Výrobce při stejné zpracovatelské teplotě (230°C) dosáhl u zkoušeného materiálu prodloužení spirály cca o 10 cm, při experimentu byl i při hodnotě obsahu aditiva 4% nárůst spirály jen o cca 2 cm.



Obr. 4.5: Průběh hodnot spirálové zkoušky naměřený výrobcem



Obr. 4.6: Průběh hodnot spirálové zkoušky naměřených při experimentu

4.3.3 Vyhodnocení zkoušky smrštění

Z grafu smrštění na obr. 3.44 lze na první pohled vyčíst dosti rozdílné smrštění vzorku materiálu B, kde tento materiál vykazoval po vstřikování větší smrštění, než po jeho teplotním zatížení. Obdobný rozdíl vykazoval po třetím vstřikování vzorek materiálu E, jen nebyl tak veliký.

Nejmenší smrštění z celé řady materiálů vykazovaly podle předpokladů vzorky materiálu B. Největší rozkmit hodnot vykazovaly vzorky materiálu A a vzorky materiálu B měly rozdíl ve smrštění mezi prvním a třetím vstřikováním (vyjma po teplotním zatížení) téměř nulový, což bylo důsledkem příliš velkého smrštění po prvním vstřikování.

Ve všech případech se ale hodnota smrštění pohybovala okolo 1%, přidavkem Si aditiva bylo smrštění ovlivněno pouze v řádech setin procenta oproti základnímu materiálu.

5. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv silikonových aditiv v termoplastech v praxi a to aplikací při vstřikování termoplastu a provedením zkoušek vlastností materiálu při různém procentuálním obsahu silikonového aditiva s následným doporučením aplikace pro sériovou výrobu.

V teoretické části jsou nejdříve popsány silikony jako takové, kde jsou popsány jejich vlastnosti společně s různými aplikacemi v běžném životě, průmyslu a dalších odvětvích. Následuje popis samotného vstřikování plastů, jakožto metody výroby zkušebních těles. Poté jsou popsány různé formy používaných silikonových aditiv včetně jejich vlastností a aplikací při zpracování plastů.

V experimentální části jsou nejdříve zvoleny jednotlivé materiály pro výrobu zkušebních těles společně s popisem jejich vlastností. Následuje rozdělení materiálů pro výrobu zkušebních těles, volba procentuálního obsahu silikonového aditiva jednotlivých vzorků a celkové rozdělení jednotlivých zkušebních těles. Poté jsou popsána veškerá zařízení, která byla použita k výrobě vzorků. Následuje popis přípravy materiálu na výrobu zkušebních těles s následnou volbou vstřikovacích forem a popisem samostatné výroby těles. Další část je již věnována výsledkům veškerých zkoušek včetně výsledků sledování procesních veličin, kde jsou kromě samotných výsledků popsány i přístroje použité k jednotlivým zkouškám a postupy jednotlivých zkoušek.

Další částí je již vyhodnocení výsledků všech zkoušek a sledování procesních parametrů a jejich diskuse. Veškeré zkoušky jsou vyhodnocovány a diskutovány zvlášť.

Celý proces výroby vzorků probíhal bez větších obtíží a nebyl pozorován žádný negativní vliv aditiva. Materiál byl šnekem nabírán plynule a následně byl bez potíží zplastikován v celém rozsahu namíchaných směsí materiálu.

S rostoucím přídatkem aditiva došlo k postupnému snižování tlaku uvnitř formy, což je pozitivní vliv s ohledem na snížení energetických nákladů výroby a také samozřejmě na celkové zatížení stroje a formy, díky čemuž dochází k menšímu opotřebení a prodloužení životnosti jednotlivých komponentů. V souvislosti s tímto faktem s postupným přídatkem aditiva lehce snížilo smrštění materiálu, což vede ke snížení nároků na dotlak a tím k dalšímu snížení zatížení stroje a formy.

Mezi další výsledované přednosti je nutno vyzdvihnout zlepšení odformovatelnosti a lehké zlepšení zabíhavosti a tím umožnění výroby složitějších dílů při zkrácení doby potřebné k výrobě jednotlivých výrobků, případně použití nižších vstřikovacích teplot. Tento fakt vede k dalším úsporám nákladů ve výrobě.

Lehké zlepšení houževnatosti a výrazné zlepšení odolnosti proti poškrábání a otěru umožňuje použít materiál pro výrobu pohledových dílů vytavených mechanickému namáhání, jako jsou například nárazníky, palubní desky, či dveřní výplně automobilů.

Velice přínosné bylo zjištění, že přídatek aditiva nijak výrazně neovlivňoval lakovatelnost a svařitelnost, což rozšiřuje možnost použití materiálu i na lakované a svařované díly.

Přídavek silikonového aditiva měl však i negativní vlivy, jakými byly postupné zhoršení pevnosti v tahu, zhoršení pevnosti v ohybu a obzvláště negativní byl nelineární průběh naměřených hodnot s postupným přídavkem aditiva, kde byly například hodnoty vzorků z materiálu B a C opačné oproti všem předpokladům (avšak ne ve všech případech).

Teplotní zatížení vzorků simulující vliv stárnutí materiálu a zatížení během životnosti výrobku jasně ukázalo, že vzorky s větším podílem aditiva ztrácely postupně své mechanické vlastnosti. Po teplotním zatížení vzorků z 3x zpracovaného materiálu byl rozkmit hodnot doslova alarmující, některé tyto vzorky dokonce byly vyhodnoceny jako nevhodné pro vybrané uživatelské zkoušky. Vlivem teplotního zatížení těchto vzorků docházelo již k velice patrné degradaci silikonového aditiva projevující se doslova spálením povrchu vzorků a jejich následnému zkřehnutí. Díky tomuto faktu byla také tekutost teplotně zatížených vzorků z 3x zpracovaného materiálu s vyšším obsahem aditiva velice vysoká.

Bohužel při jednotlivých měřeních nebylo dosaženo skokového zlepšení hodnot z výstupů zkoušek, jak tomu udávají propagační materiály výrobce aditiva.

Vzhledem k výše zjištěným skutečnostem je doporučení materiálu s konkrétním obsahem silikonového aditiva pro sériovou výrobu velice obtížné, zvláště s přihlédnutím na fakt, že při simulaci stárnutí materiálu měl přídavek aditiva jednoznačně negativní vliv, především pak u recyklovaného materiálu. Vlivem této skutečnosti by musela být recyklace materiálu snížena na minimum, čímž se ekonomická, potažmo ekologická výhodnost materiálu snižuje. S ohledem na malý rozdíl naměřených hodnot vzorků z materiálů D a E, kde materiál D má poloviční obsah aditiva, se tento jeví jako ekonomicky nejvýhodnější k použití u výroby dílů, u nichž je zvýšená potřeba odolnosti vůči poškrábání a otěru, a nejsou kladeny velké nároky na mechanické vlastnosti materiálu. Díky tomuto je materiál s tímto obsahem aditiva vhodný v automobilovém průmyslu například pro výrobu různých částí obložení interiéru, nakládacích hran kufru a podobných výrobků. Snížení výrobních nákladů použitím tohoto aditiva však nebude nikterak výrazně vyvažovat zvýšené náklady vzniklé použitím daného aditiva.

6. LITERATURA

- /1/ cs.wikipedia.org/wiki/K%C5%99em%C3%ADk (únor 2011)
- /2/ www.ft.utb.cz/czech/upmt/pak/index.htm (březen 2011)
- /3/ www.sicorubena.cz/?utm_source=GOOGLE&utm_medium=PPC&utm_campaign=v%C5%A1e
(únor 2011)
- /4/ History of Dow Corning Corporation (pdf prezentace firmy Dow Corning, 2007).
- /5/ www.acc-silicones.cz/products/encapsulants.ashx (březen 2011)
- /6/ www.veda.cz/article.do?articleId=14397 (duben 2011)
- /7/ www.veda.cz/article.do?articleId=13908 (duben 2011)
- /8/ www.medimplant.cz/prsni-implantaty-mentor (duben 2011)
- /9/ www.ident.cz/zubni-laborator/otiskovaci-hmoty/ (Duben 2011)
- /10/ www.imaterialy.cz/Materialy/Plasty-pro-stavebnictvi-aarchitekturu-8-Silikony.html
(duben 2011)
- /11/ www.basf-sh.cz (březen 2011)
- /12/ http://www.3m-pressnet.de/3m/opencms/newsdata/industrie/3M_Silikon-Halbmaste_2002-09-18.16_03_23
- /13/ rssportal.cz (březen 2011)
- /14/ Přednášky z předmětu Technologie II. (Technologie tváření kovů a plastů): doc.Dr.Ing.
P. Lenfeld, TU v Liberci, 2011.
- /15/ POLYMERNÍ MATERIÁLY (učební text z předmětu MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE II,
doc. Ing. Karel Stoklasa, CSc., 2004)
- /16/ - Siloxanové polymerní přísady zlepšují zpracování a vlastnosti polymerů (článek časopisu
CHEMagazín, číslo 3, ročník XII, 2002).
- /17/ MB 50 in polyolefines (pdf prezentace firmy Dow Corning, 2006).
- /18/ Materiálový list SABIC PP 108MF10.
- /19/ Materiálový list SABIC PPcompound 20MBTF.
- /20/ www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vybaveni.htm (únor 2011)
- /21/ POUPA, T.: Teplotní analýza vstřikovací formy při nekonvenčním způsobu temperování
Rangue–Hilsch vírovou trubicí. Diplomová práce. Liberec: TU v Liberci, 2005.
- /22/ KREBS, J.: Teorie zpracování nekovových materiálů. Liberec: TU v Liberci, 2006. ISBN 80-
7372-133-3.
- /23/ SOVA, A.; KREBS, J.: Termoplasty v praxi. Praha: Verlag Dashöffer s.r.o.,
1999-2004.
- /24/ BRYDSON, J. A.: Plastics Materials, Butterworth Scientific, London, 1989.

/25/ DOMININDHAUS, H.: Plastics for Engineers [Materials, Properties, Applications], Hanser Publisher, Munich, 1993.

/26/ Příslušné normy ČSN EN ISO.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorská práva užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnuli licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mě požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 27. 5. 2011

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that copyright Act No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular Section §60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis form the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence of its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expense invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 27th May, 2011

Signature: